

ANALYSE MULTICRITÈRE DU POTENTIEL D'UTILISATION D'ÉCOSYSTÈMES CÔTIERS POUR LA
GESTION DES DÉASTRES NATURELS EN INDE

par
Nikolas St-Jean

Essai de double diplôme présenté au
Centre universitaire de formation en environnement et au
Département de biologie en vue de l'obtention des grades de maître en environnement et
de maître en écologie internationale

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT ET
DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE – FACULTÉ DES SCIENCES
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sous la direction de Monsieur Denis Dionne
et de Madame Fanie Pelletier

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
Cheminement de type cours en gestion de l'environnement

MAÎTRISE EN BIOLOGIE
Cheminement de type cours en écologie internationale

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Mai 2014

SOMMAIRE

Mots clés : côte est de l'Inde, golfe du Bengale, aléas naturels, risque, résilience, mitigation, gestion écologique, développement durable.

Au cours des dernières décennies, les aléas hydrométéorologiques ont apporté un nombre grandissant de désastres naturels à l'échelle planétaire et sont associés à des pertes économiques de plusieurs milliards de dollars américains chaque année. Parmi les régions vulnérables, les zones côtières subissent généralement des impacts plus sévères. La contribution exacte des changements climatiques à la fréquence et l'intensité de ces aléas demeure incertaine, mais la probabilité d'événements météorologiques extrêmes est significativement accrue avec l'augmentation de la température moyenne planétaire. Les autorités responsables doivent donc élaborer des plans d'adaptation et de gestion des risques afin de réduire les impacts, protéger leur population et maintenir leur économie.

Une des voies envisagées est l'utilisation des écosystèmes pour la prévention, protection et mitigation des impacts des aléas dans les zones côtières. La dégradation soutenue des écosystèmes côtiers a mené à des impacts négatifs sur la résilience des populations locales, il est donc plausible que la conservation, la valorisation ou la restauration de ces écosystèmes puissent avoir un impact inverse. L'objectif principal de cet essai est l'évaluation du potentiel d'utilisation des écosystèmes côtiers dans un plan de gestion des risques de désastres naturels des états indiens du Tamil Nadu, d'Andhra Pradesh et d'Odisha qui bordent le golfe du Bengale. Le niveau de risque de cette région est particulièrement élevé en raison de plusieurs facteurs incluant : le climat régional, la géomorphologie de la côte et le taux de pauvreté.

L'identification des impacts potentiels des changements climatiques ainsi qu'une description approfondie des caractéristiques physiques et socioéconomiques du lieu d'étude ont permis l'identification et l'analyse subséquente de six mesures de gestion à l'aide de la méthodologie *MCA4climate* développée par le Programme des Nations unies pour l'environnement. Cette analyse a révélé que les mesures de gestion écologiques concordent avec tous les principes du développement durable et se démarquent avantageusement de leurs contreparties structurelles. Les résultats obtenus ont permis l'élaboration d'une série de cinq recommandations : 1) l'implémentation immédiate de mesures de gestion écologiques vu les délais requis pour leur

pleine fonctionnalité, 2) l'intensification de la recherche sur les services et produits écologiques afin de mieux informer les autorités responsables, 3) la combinaison de différents types de mesures de gestion pour créer une synergie positive pour augmenter la performance, 4) la restriction de l'utilisation de mesures de gestion structurelles en raison de leurs lacunes sur le plan du développement durable et, finalement, 5) le renforcement de la *Politique nationale sur la gestion des désastres naturels* du gouvernement fédéral indien pour encadrer, suivre et supporter les efforts des autorités responsables des régions à risque élevé.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à souligner l'appui et le soutien de mes deux codirecteurs, Fanie Pelletier et Denis Dionne. Leurs conseils et commentaires tout au long du processus de rédaction m'ont permis de structurer mes idées, d'enrichir mes connaissances et grandement améliorer la qualité de cet essai.

J'aimerais également remercier Caroline Cloutier et Judith Vien. Leurs commentaires et suggestions m'ont permis de bien me préparer aux nombreux défis de la rédaction d'un essai. Leur expertise m'a permis de mieux cerner mon sujet et de profiter des quatre mois de recherche et de rédaction pour découvrir un domaine fascinant.

Chacun des professeurs et chargés de cours du programme MENV-MÉI a enrichi mon expérience au cours des trois dernières années. Je termine mon parcours scolaire avec un bagage d'expériences inoubliables et une vision renouvelée du domaine de l'environnement et de l'écologie.

Je suis particulièrement reconnaissant envers Linda Pérez, qui a cru en moi et mon sujet dès le début et a su m'encourager quand j'en avais le plus besoin. Malgré plusieurs moments difficiles, elle a toujours été capable de m'aider à retrouver la motivation et retourner au travail. Sans elle, je ne crois pas avoir pu réussir.

L'encouragement de mes parents, de mon frère et du reste de ma famille m'a convaincu de poursuivre mes études et de m'inscrire à ce programme de double maîtrise. Je leur dois une grande part de mes accomplissements.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
CHAPTITRE 1. IDENTIFICATION DES RISQUES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	4
1.1. Influence des changements climatiques	4
1.1.1. Cycle de la mousson	14
1.1.2. Cyclones tropicaux	19
1.2. Vulnérabilité des populations côtières.....	22
1.3. Impacts observés.....	26
CHAPTITRE 2. DESCRIPTION DU LIEU D'ÉTUDE	30
2.1. Caractéristiques physiques.....	30
2.2. Contexte socioculturel.....	34
2.3. État de l'économie locale	37
2.4. Gestion actuelle des désastres naturels.....	40
2.5. Conséquences du degré de vulnérabilité	42
CHAPTITRE 3. INVENTAIRE ÉCOLOGIQUE	44
3.1. Services et produits des écosystèmes côtiers	44
3.2. Écosystèmes de la côte est de l'Inde	49
3.2.1. Récifs coralliens	53
3.2.2. Herbiers marins	57
3.2.3. Mangroves et marais salés	59
3.2.4. Dunes.....	63

3.2.5.	Estuaires, lagunes et deltas de rivière.....	65
CHAPTITRE 4. MESURES DE GESTION		69
4.1.	Types de mesures de gestion	69
4.1.1.	Mesures de gestion structurelles	71
4.1.2.	Mesures de gestion écologiques	73
4.2.	Opportunités de mesures de gestion écologiques pour la côte est de l'Inde	77
4.2.1.	Récifs coralliens	77
4.2.2.	Herbiers marins	78
4.2.3.	Mangroves et marais salés	79
4.2.4.	Dunes.....	81
4.2.5.	Estuaires, lagunes et deltas de rivière.....	83
4.3.	Gestion écologique : trois études de cas de l'Asie du Sud	84
4.3.1.	Étude de cas #1 : La gestion communautaire des mangroves	88
4.3.2.	Étude de cas #2 : La restauration de la végétation littorale	89
4.3.3.	Étude de cas #3 : La mise en place du Modèle triple F	90
CHAPTITRE 5. ANALYSE DU POTENTIEL D'UTILISATION DES MESURE DE GESTION ÉCOLOGIQUES.....		93
5.1.	Approche méthodologique retenue.....	93
5.2.	Critères d'analyse	95
5.3.	Sélection des mesures pour l'analyse	100

5.4.	Grille d'analyse	108
CHAPTITRE 6. RECOMMANDATIONS.....		114
6.1.	Implémentation immédiate de mesures de gestion écologiques.....	115
6.2.	Intensifier la recherche sur les services et produits écologiques	117
6.3.	Combinaison de différents types de mesures de gestion	118
6.4.	Restriction de l'utilisation des mesures de gestion structurelles.....	120
6.5.	Renforcement de la <i>Politique nationale sur la gestion des désastres naturels</i>	120
CONCLUSION		122
RÉFÉRENCES		124

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Facteurs naturels et anthropiques qui modulent le cycle de la mousson	5
Figure 1.2. Concentration de CO ₂ atmosphérique mesurée à l'observatoire Mauna Lao depuis 1959.	8
Figure 1.3. Démarches suivies pour générer des prévisions selon les scénarios SRES et RCP.	9
Figure 1.4. Carte de l'Asie du Sud indiquant la séparation entre ses zones climatiques.....	15
Figure 1.5. Zones de formation de cyclones à l'échelle planétaire.....	20
Figure 1.6. Pertes économiques totales associées à l'occurrence de désastres naturels	26
Figure 1.7. Taux de mortalité en Inde causé par trois types d'aléas naturels (A. Cyclone tropical, B. Inondation et D. Sécheresse)	28
Figure 2.1. Carte indiquant les zones physiographiques de l'Inde	31
Figure 2.2. Croissance du PIB de l'Inde	38
Figure 3.1. Types de formations récifales	54
Figure 3.2. Délimitation de la zone récifale et des herbiers marins de la côte est indienne.....	56
Figure 3.3. Carte de la distribution des mangroves de la côte est indienne	62
Figure 3.4. Richesse spécifique de palétuviers à l'échelle planétaire.....	63
Figure 3.5. Carte des principaux deltas de rivière de la côte est indienne.....	68
Figure 4.1. Catégories de mesures de gestion des risques de désastres naturels : A) le recul planifié, B) l'accommodation et C) la protection	70
Figure 4.2. Structure typique d'une digue côtière.....	71
Figure 4.3. Exemples de mesures de protection écologiques : C)* ¹ mesure écologique et C)* ² combinaison écologique-structurelle.	73

Figure 4.4. Cycle d'utilisation des services et produits écologiques.....	74
Figure 4.5. Les éléments de l'approche écologique.....	76
Figure 4.6. Carte indiquant les trois régions mentionnées dans les études de cas (cercles mauves).....	85
Figure 4.7. Structure du Modèle triple F.....	91
Figure 5.1. Schéma pour la sélection du type d'analyse pour les mesures de gestion	94
Figure 5.2. Critères d'analyse standards proposés par le modèle <i>MCA4climate</i>	96
Figure 5.3. Schéma pour la sélection et l'élaboration de mesures de gestion écologiques efficaces.....	103
Figure 5.4. Représentation graphique des résultats de l'analyse par catégorie de critères (en ordre croissant de leur performance).....	112

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Exemples des indicateurs utilisés pour déceler les changements climatiques.....	7
Tableau 1.2. Émissions de CO ₂ selon les projections du GIEC (SRES contre RCP)	10
Tableau 1.3. Relation entre l'augmentation de la température moyenne planétaire, la concentration atmosphérique de CO ₂ et le risque d'aléas sévères.....	13
Tableau 1.4. Sommaire des risques d'aléas associés au cycle de la mousson en Asie du Sud.	19
Tableau 1.5. Fréquence de formations cycloniques du golfe du Bengale depuis 1971	21
Tableau 1.6. Sommaire des risques d'aléas associés aux cyclones en Asie du Sud.....	22
Tableau 1.7. Description des facteurs de vulnérabilité	23
Tableau 1.8. Sommaires des impacts d'aléas naturels observés en Inde.....	29
Tableau 2.1. Sommaire des vulnérabilités physiques de la côte est de l'Inde.	33
Tableau 2.2. Sommaire des vulnérabilités socioculturelles de la côte est de l'Inde.	36
Tableau 2.3. Sommaire des vulnérabilités économiques de la côte est de l'Inde.....	39
Tableau 2.4. Sommaire des vulnérabilités de gestion de la côte est de l'Inde.....	42
Tableau 3.1. Services écologiques offerts par les écosystèmes côtiers	46
Tableau 3.2. Synthèse de la contribution des écosystèmes de côte est de l'Inde à la prévention, protection et mitigation d'aléas naturels).	51
Tableau 4.1. Facteurs de performance des mangroves pour la réduction des impacts.....	80
Tableau 4.2. Synthèse des trois études de cas et de leur efficacité	86
Tableau 5.1. Interprétation et pondération des critères retenus pour l'analyse des mesures de gestion selon le contexte de la côte est de l'Inde	98

Tableau 5.2. Description des paramètres des mesures de gestion écologiques sélectionnées pour l'analyse.	101
Tableau 5.3. Description des paramètres des mesures de gestion structurelles sélectionnées pour l'analyse.	106
Tableau 5.4. Évaluation des mesures de gestion des risques de désastres naturels en fonction des critères pondérés du tableau 5.1 (0 = ne correspond pas à l'énoncé du critère; 1 = correspond à l'énoncé du critère).	109
Tableau 5.5. Cotes finales des mesures de gestion et leur potentiel d'utilisation.	111
Tableau 6.1. Synthèse des cinq principales recommandations sur la gestion des risques de désastres naturels sur la côte est de l'Inde.	115

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

°C	Degré Celsius
\$ US	Dollar américain
CaCO ₃	Carbonate de calcium
CCNUCC	Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques
CIA	<i>Central Intelligence Agency</i>
CO ₂	Gaz carbonique
CH ₄	Méthane
CNRD	<i>Center for Natural Resources and Development</i>
DPGP	<i>Department of Planning Government of Punjab</i>
ÉÉM	Évaluation des écosystèmes pour le millénaire
GBM	Groupe de la Banque Mondiale
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat
ha	Hectare
km	Kilomètre
km ²	Kilomètre carré
m	Mètre

m ³	Mètre cube
MAP	<i>Mangrove Action Project</i>
MHA	<i>Ministry of Home Affairs</i>
MSSRF	<i>M. S. Swaminathan Research Foundation</i>
NDMA	<i>Natural Disaster Management Authority</i>
NIDM	<i>National Institute for Disaster Management</i>
NIO	<i>National Institute of Oceanography</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
O ₂	Oxygène
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
OMCAR	<i>Organization for Marine Conservation Awareness and Research</i>
OMM	Organisation météorologique mondiale
ONG	Organisation non gouvernementale
ONU	Organisation des Nations unies
ONUSIPC	Secrétariat des Nations unies de la Stratégie internationale de prévention de catastrophes
PEDRR	<i>Partnership for Environment and Disaster Risk Reduction</i>
PIB	Produit intérieur brut
PNUD	Programme des Nations unies pour le développement

PNUE	Programme des Nations unies pour l'environnement
ppm	Parties par million
RNB	Revenu national brut
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
SRES	<i>Special Report on Emission Scenarios</i>
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
UNEP-WCMC	<i>United Nations Environment Program-World Conservation Monitoring Center</i>
UNICEF	Fonds des Nations unies pour l'enfance
VMC	<i>Village Mangrove Council</i>
ZCIT	Zone de convergence intertropicale

LEXIQUE

Adaptation	Des ajustements dans la nature ou dans les systèmes humains en réponse aux effets actuels ou futurs des changements climatiques qui mitigent les impacts ou exploitent les opportunités bénéfiques (GIEC, 2007a).
Aléa	Phénomène, manifestation physique ou activité humaine susceptible d'occasionner des pertes de vies humaines, des dommages, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement (Québec, 2008).
Atoll	Type de formation récifale généralement associé aux îles volcaniques. Un atoll se forme lorsque l'île s'inonde ou glisse sous le niveau de la mer (Miththapala, 2008a).
Changements climatiques	Déviations soutenues de l'état normal du climat qui peuvent être identifiées par la variabilité prolongée (décennies) de ses propriétés (GIEC, 2014a).
Danger	Source potentielle de dommage, de préjudice ou d'effet nocif à l'égard d'une chose ou d'une personne (CCHST), 2009).
Désastre naturel	Altération sévère dans le fonctionnement normal d'une communauté ou d'une société causée par des événements physiques dangereux en interaction avec les conditions sociales, entraînant des effets environnementaux qui nécessitent une réponse immédiate (GIEC, 2012).
<i>El Niño</i>	Perturbation cyclique dans la circulation atmosphérique au-dessus de l'océan Pacifique qui cause des altérations sévères au climat régional (GIEC, 2007a).

Forçage radiatif	Le changement net du flux radiatif (exprimé en Watt par mètre carré) à la tropopause ou à la limite de l'atmosphère causé par le changement d'un facteur externe des changements climatiques comme la concentration de gaz carbonique ou de la radiation du soleil (GIEC, 2012).
Gestion des écosystèmes	Un processus intégré pour la conservation et l'amélioration de l'état des écosystèmes qui soutiennent la génération de services et produits écologiques pour le bien-être humain (Munang et autres, 2013).
Gestion des risques	Approche adoptée par un groupe ou une population qui consiste à miser sur la prise en compte constante des risques dans ses processus décisionnels, dans la gestion de ses ressources et dans la façon dont elle prend en charge ses responsabilités (Québec, 2008).
Niveau de risque	Importance attribuée à un risque en fonction de l'évaluation des probabilités d'occurrence d'un aléa donné et de ses conséquences potentielles (Québec, 2008).
Probabilité d'occurrence	Jugement porté concernant le degré de vraisemblance associé à la manifestation d'un aléa donné et d'une intensité donnée (Québec, 2008).
Résilience	Aptitude d'un système, d'un groupe ou d'une société potentiellement exposé(e) à des aléas à s'adapter pour établir et maintenir un niveau de fonctionnement acceptable (Québec, 2008).
Restauration écologique	Processus d'assister la récupération d'un écosystème dégradé, endommagé ou détruit jusqu'à que celui-ci atteigne un état d'autosuffisance structurelle et fonctionnelle (SER, 2004).

Risque	Combinaison de la probabilité d'occurrence d'un aléa et des conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu donné (Québec, 2008).
Services écologiques	Les conditions et les processus à travers lesquels les écosystèmes naturels et les espèces qui les composent soutiennent la vie humaine. Ces services peuvent être décomposés en cinq catégories : approvisionnement, régulation, culturel, support et biodiversité (Carpenter et al., 2009).
Vulnérabilité	Condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédispose les éléments exposés à un aléa à subir des dommages (Québec, 2008).

INTRODUCTION

La dernière décennie a été particulièrement marquée par une augmentation de la fréquence et de l'intensité d'aléas d'origine climatique menant à de véritables désastres naturels. En fait, au cours de cette dernière décennie, 90 % des désastres naturels à l'échelle planétaire ont été déclenchés par des aléas hydrométéorologiques et sont associés à des pertes économiques totalisant 690 milliards de dollars américains (\$ US) (Shaw, 2006; He et Qiu, 2011). Leur importance au niveau mondial est indéniable et la coordination entre les communautés scientifique et politique est cruciale pour assurer une gestion intégrée des risques. Autrement dit, les gouvernements doivent appliquer les connaissances scientifiques pour gérer les désastres naturels en considérant les principes de chacune des sphères du développement durable : l'économie, l'environnement et la société.

En tenant compte de l'influence des changements climatiques et de l'importance des désastres naturels liés au climat, l'élaboration de systèmes de gestion de désastres naturels doit faire partie des priorités des autorités gouvernementales responsables. Selon plusieurs spécialistes du domaine, l'approche à la gestion de désastres naturels engendrés par les changements climatiques gagnerait à être orientée vers la prévention et la mitigation plutôt que vers la réponse aux dommages subis. Les gouvernements doivent donc identifier les régions à risque élevé et mettre en place un système de gestion efficace pour limiter les dégâts.

Pour intégrer le développement durable dans la gestion des désastres naturels, les mesures élaborées doivent également intégrer les principes qui le définissent. Étant donné que la dégradation des écosystèmes mène à des impacts négatifs sur la résilience des populations locales, il est plausible que la conservation, la valorisation ou la restauration de ces écosystèmes puissent avoir un impact inverse. Pour cette raison, l'objectif principal de cet essai est l'évaluation du potentiel d'utilisation des écosystèmes côtiers dans la prévention, protection et mitigation des impacts d'un aléa naturel et leur intégration dans un plan de gestion de désastres naturels.

Parmi les régions plus vulnérables, les zones côtières subissent généralement un risque plus élevé de désastres naturels lié au climat. En Inde, par exemple, les villes de Mumbai et Kolkata, où résident 19,7 et 15,3 millions d'habitants respectivement, sont fréquemment inondées à la suite de pluies prolongées ou de fortes tempêtes (Ranger et autres, 2011; CIA, 2014). Dans le cas de

Kolkata, ces inondations ont été attribuées à la réduction de la capacité de rétention d'eau des milieux humides entourant la ville causée par la pression de la croissance démographique (Dasgupta et autres, 2012). Lorsque présent, ces milieux humides peuvent, protéger les populations locales en retenant et en tamponnant l'eau déversée par les pluies. Par contre, vu leur dégradation, leur capacité de rétention est compromise et l'eau finit par s'écouler directement vers la ville.

Environ 44 % de la population de la planète vit à moins de 150 kilomètres (km) d'une côte (*UN Atlas of the Oceans*, 2010a). La densité humaine élevée augmente la vulnérabilité de ces régions et, par conséquent, l'intérêt envers une gestion appropriée des risques associés aux désastres naturels. La destruction des écosystèmes côtiers est de plus en plus importante sous l'effet du développement urbain, résidentiel et touristique. Puisque plusieurs des écosystèmes détruits ou dégradés par l'urbanisation peuvent, dans certains cas, servir de protection naturelle, les impacts d'aléas naturels peuvent s'amplifier. Les populations côtières sont donc plus vulnérables à l'intensification des aléas entraînés par les changements climatiques.

La zone côtière étudiée dans le cadre de cet essai est celle appartenant au territoire indien. Plus spécifiquement, la région sélectionnée est la côte des états du Tamil Nadu, d'Andhra Pradesh et d'Odisha. Cette région s'étend sur environ 2400 km et borde principalement le golfe du Bengale, à l'est, et l'Océan Indien, au sud. La diversité des écosystèmes et la haute densité humaine dans les villes côtières de Chennai et Visakhapatnam, par exemple, permettent la réalisation d'une analyse dont les résultats peuvent être appliqués aux régions similaires qui subiront, ou subissent déjà, les impacts des changements climatiques.

La majorité de la documentation utilisée dans le cadre de cet essai provient de livres publiés par Springer composés d'articles scientifiques axés sur la gestion de désastres naturels et sur les mesures d'adaptation aux changements climatiques. Ces sources sont également appuyées par les rapports du Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) et quelques publications de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC). Ces deux organisations sont rattachées à l'Organisation internationale des Nations Unies (ONU) et constituent des sources fiables et actualisées. Des articles scientifiques publiés dans des périodiques réputés sont également utilisés pour soutenir l'atteinte des objectifs de l'essai.

L'essai est divisé en fonction de la réalisation des objectifs spécifiques qui permet l'atteinte de l'objectif principal. Le premier chapitre évalue les risques liés aux changements climatiques en identifiant les tendances climatiques générales de la région de l'Asie du Sud. Ce chapitre aborde également les impacts observés actuellement ainsi que les facteurs modulant la vulnérabilité d'une population exposée. Le second chapitre, quant à lui, cerne la zone côtière à l'est de l'Inde et clarifie le contexte particulier de l'essai en décrivant le lieu d'étude et en évaluant le degré de vulnérabilité de ses populations. Le troisième chapitre comprend l'identification des écosystèmes côtiers du lieu d'étude et leurs services et produits écologiques ayant un rôle dans la prévention, protection ou mitigation d'un éventuel aléa naturel. Le quatrième chapitre met de l'avant les divers types de mesures de gestion possibles. Un survol des mesures écologiques actuellement mises en place est également effectué, sous la forme d'études de cas, pour explorer les pratiques courantes. Le cinquième chapitre présente l'analyse des mesures de gestion écologiques pour en déterminer leur efficacité et leur potentiel d'utilisation dans un plan de gestion de désastres naturels. Cette analyse est effectuée en fonction de critères de sélection correspondant aux éléments clés du développement durable et des principales préoccupations des parties prenantes. Finalement, avec l'appui des résultats de l'analyse et de l'état des connaissances établi dans les quatre premiers chapitres, le sixième chapitre élabore une série de recommandations sur l'utilisation de mesures écologiques et la gestion des risques de désastres naturels pour les zones côtières en général.

CHAPTITRE 1. IDENTIFICATION DES RISQUES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les changements climatiques prévus au cours du prochain siècle viennent moduler la probabilité d'occurrence d'aléas naturels. Pour cette raison, ce chapitre vise à identifier les aléas responsables des désastres naturels en Asie du Sud et à évaluer les divers facteurs physiques, sociaux, économiques et environnementaux contribuant à l'augmentation des risques et de la vulnérabilité. Dans le but de mettre en évidence les connaissances nécessaires à la bonne compréhension du contexte, ce chapitre est divisé en quatre sections décrivant : l'influence des changements climatiques, les divisions climatiques de l'Asie du Sud, le degré de vulnérabilité des populations côtières, et les impacts potentiels.

1.1. Influence des changements climatiques

La région de l'Asie du Sud, et particulièrement le subcontinent indien, doit son climat au cycle de la mousson asiatique. Ce cycle est complexe et modulé par plusieurs facteurs naturels. Ces facteurs naturels sont hautement dynamiques et fortement affectés par les impacts des changements climatiques. En fait, les facteurs anthropiques, qui contribuent majoritairement aux changements climatiques actuels, perturbent les facteurs naturels et modifient progressivement les cycles climatiques comme celui de la mousson. La figure 1.1 présente les divers facteurs, naturels et anthropiques, ayant un rôle à jouer dans le contrôle de la mousson. Par contre, l'influence des changements climatiques ne se limite pas à quelques processus en particulier. Leurs impacts sont ressentis et observables, avec un certain degré de variabilité en intensité, dans chacune des zones climatiques planétaires.

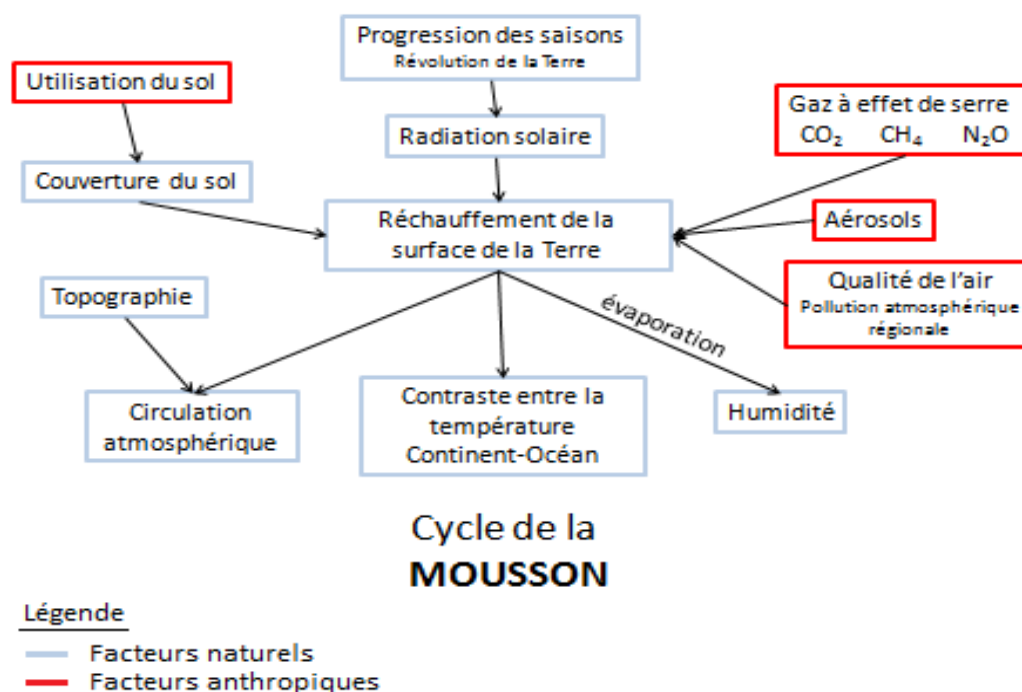


Figure 1.1. Facteurs naturels et anthropiques qui modulent le cycle de la mousson (compilation d'après : GIEC, 2014a, p. 1228).

Comme le démontre la figure 1.1, les facteurs qui modulent le cycle de la mousson sont étroitement liés les uns entre les autres. Il est donc primordial d'évaluer les impacts des changements climatiques sur l'expression de ces facteurs et sur le climat régional. Puisque les divers cycles climatiques planétaires sont en voie de changement, une meilleure compréhension des impacts sur les facteurs de contrôle permet d'anticiper les diverses conséquences possibles en ce qui a trait à l'environnement et aux populations humaines.

Au-delà des impacts directs sur le climat, les changements climatiques affectent le fonctionnement des écosystèmes en altérant les conditions physiques auxquelles ces systèmes sont adaptés. Chaque écosystème a un seuil de changement qui détermine ce que celui-ci peut endurer sans en souffrir (GIEC, 2007a). L'intensification des pluies, les vagues de chaleur extrêmes, la fréquence élevée de feux, la hausse du niveau de la mer et l'érosion des côtes peuvent agir de sorte à déséquilibrer le fonctionnement des écosystèmes et forcer un retrait progressif qui mène à leur disparition (GIEC, 2007a). En fait, il est généralement reconnu que les changements

climatiques, et les perturbations à l'environnement que ceux-ci entraînent mèneront à l'extinction de plusieurs espèces et la réduction de la diversité des écosystèmes (GIEC, 2007a).

De plus, l'impact des changements climatiques sur les écosystèmes est exacerbé par les conséquences des activités menées par l'Homme : la contamination, la fragmentation d'habitats naturels, la perte de certaines espèces clés et l'introduction d'espèces exotiques à caractère invasif (GIEC, 2007a). La dégradation ou la perte des écosystèmes peut nuire aux populations humaines et les rendre plus vulnérables aux aléas naturels emmenés par les changements climatiques. Ces populations, et particulièrement celles vivant sous le seuil de pauvreté, dépendent des divers services et produits offerts directement par les écosystèmes pour améliorer leur qualité de vie. La perte de l'accès aux services et produits écologiques les maintient dans un état de pauvreté et contribue significativement à l'augmentation de leur niveau de vulnérabilité.

Le lien entre les émissions de gaz à effet de serre (GES), le réchauffement planétaire et les changements climatiques est fondamental (CCNUCC, 2014). En fait, les GES sont reconnus comme la principale force motrice de l'augmentation de la température moyenne planétaire et des changements aux cycles climatiques (GIEC, 2014a). Plus spécifiquement, le gaz carbonique (CO₂) et le méthane (CH₄) sont les principaux GES contribuant à l'amplification de l'effet de serre (GIEC, 2007b; GIEC, 2014a). D'autres GES entrent en ligne de compte, mais considérant le temps de résidence dans l'atmosphère et le forçage radiatif, le CO₂ et le CH₄ demeurent les plus grands acteurs (GIEC, 2014a). Certains aérosols ont également un rôle à jouer, mais sont considérés comme secondaires aux GES (GIEC, 2014a).

L'effet de serre est un phénomène naturel essentiel à l'existence de vie sur la Terre. Sans ce phénomène, la température planétaire moyenne ne dépasserait guère les -18 degrés Celsius (°C) en comparaison au 15 °C actuel (GIEC, 2007b; Environnement Canada, 2012). L'augmentation de température en °C est le principal indicateur suivi, mais, comme le démontre le tableau 1.1, la liste d'indicateurs couramment utilisée par les spécialistes est bien garnie (GIEC, 2014a).

Tableau 1.1. Exemples des indicateurs utilisés pour déceler les changements climatiques (inspiré de : GIEC, 2014a, p. 130).

Indicateurs		
Atmosphère	Troposphère	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des gaz à effet de serre (incluant CO₂, CH₄ et N₂O) • Augmentation de la vapeur d'eau • Changements dans la couverture nuageuse • Changements à long terme de la circulation atmosphérique (incluant la migration polaire du courant-jet)
	Près de la surface	<ul style="list-style-type: none"> • Réchauffement de la surface de l'océan • Augmentation de l'humidité
Terre		<ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la couverture de neige • Diminution de l'étendue et l'épaisseur du pergélisol • Augmentation de la fréquence d'événements de précipitation intense
Océan		<ul style="list-style-type: none"> • Hausse du niveau de la mer • Changement du taux de salinité • Acidification
Glace		<ul style="list-style-type: none"> • Retraite des glaciers • Diminution de la couverture de glace arctique • Changement s de la couverture de glace en Antarctique

Des accords régionaux ou internationaux, comme le Protocole de Kyoto, sont formulés afin de limiter les émissions de CO₂. Ces limites sont fixées afin de contrer les conséquences jugées inacceptables du réchauffement planétaire sur le climat (CCNUCC, 2014). Depuis 1959, la concentration moyenne de CO₂ a augmenté d'environ 80 parties par million (ppm), de 316 ppm au niveau actuel de 396 ppm, et la tendance se poursuit (Tans et Keeling, 2014; Tans, 2014a). La moyenne du taux d'augmentation de CO₂ au cours de la dernière décennie est d'environ 2 ppm par année (Tans et Keeling, 2014; Tans, 2014a). Le graphique suivant présente les données annuelles recueillies par l'observatoire Mauna Lao depuis son ouverture.

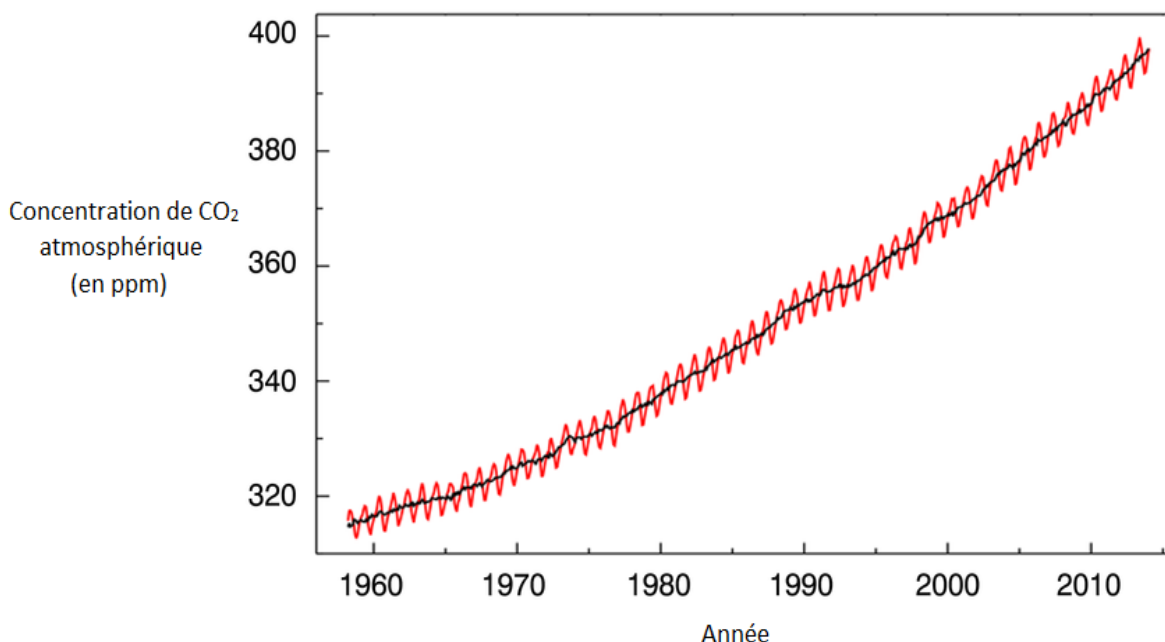


Figure 1.2. Concentration de CO₂ atmosphérique mesurée à l'observatoire Mauna Lao depuis 1959 (Tans et Keeling, 2014).

Au mois de mai 2013, un nouveau seuil a été franchi. L'observatoire Mauna Lao du *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) a mesuré des concentrations atmosphériques de CO₂ atteignant une moyenne d'environ 400 ppm avec des fluctuations hebdomadaires dépassant ce niveau (Tans et Keeling, 2014; Tans, 2014b). Selon le GIEC (2014b), les données provenant de l'observatoire de Mauna Lao sont parmi les plus précises et les plus fiables.

La grande majorité des experts affirment avec un niveau de certitude élevé que les activités industrielles depuis la fin du 19^e siècle sont la principale cause de l'amplification de l'effet de serre (GIEC, 2007b; GIEC, 2014a). En fait, selon le GIEC (2014b), les contributions anthropiques aux changements climatiques sont évidentes considérant le taux de croissance des émissions de GES depuis la révolution industrielle. Par contre, que les changements climatiques soient d'origine anthropique ou d'une combinaison de facteurs naturels, le résultat est le même. Le réchauffement de la planète engendre des changements climatiques radicaux pouvant modifier les cycles naturels. Ces modifications viennent augmenter la probabilité d'occurrence d'aléas naturels causant des désastres dont l'impact est modulé par la vulnérabilité des populations humaines.

Plusieurs scénarios sont étudiés pour identifier l'éventail des impacts potentiels qui devront être gérés. Dans son cinquième rapport d'évaluation, le GIEC considère quatre scénarios, *Representative Concentration Pathways* (RCP), qui représentent quelques différentes voies possibles pour le prochain siècle (GIEC, 2014a). L'intégration de ces scénarios, en 2008, actualise la recherche dans le domaine des changements climatiques et modifie légèrement l'approche (Moss et autres, 2007; Moss et autres, 2010; Vuuren et Carter, 2014). Par contre, un changement d'approche dans l'élaboration des scénarios implique l'actualisation de toutes les analyses qui se basent sur ceux-ci. La figure suivante présente les deux différentes approches pour l'élaboration des scénarios, soit celles des RCP et du *Special Report on Emission Scenarios* (SRES), et les démarches suivies pour générer des prévisions.

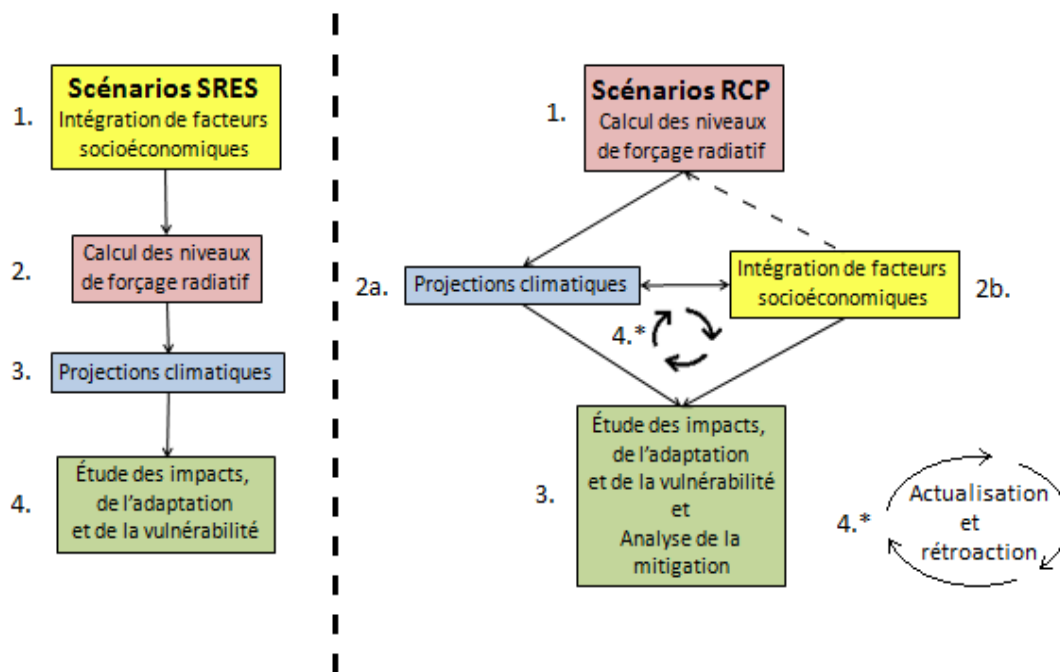


Figure 1.3. Démarches suivies pour générer des prévisions selon les scénarios SRES et RCP (inspiré de Moss et autres, 2007, p. iv).

Puisque ce processus est de longue durée, il est important de lier ces nouveaux scénarios à la littérature existante (Vuuren et Carter, 2014). Surtout en ce qui concerne la dernière étape : l'analyse des impacts, de l'adaptation et de la vulnérabilité (Vuuren et Carter, 2014). Les études d'impacts, d'adaptation et de vulnérabilité disponibles dans le but d'identifier les conséquences

réelles des changements climatiques sont majoritairement basées sur les scénarios du SRES (Vuuren et Carter, 2014). Puisque l'utilisation des scénarios RCP est relativement récente, la démarche d'évaluation des changements climatiques est toujours en voie de développement (Moss et autres, 2010; Vuuren et Carter, 2014). Le processus demande plusieurs années de travail et une variété d'études pour obtenir des résultats fiables sur les impacts, l'adaptation et la vulnérabilité (Vuuren et Carter, 2014). Pour cette raison, il est préférable de considérer le vaste recueil d'études basées sur les scénarios SRES.

Le tableau suivant permet de comparer les scénarios du cinquième rapport d'évaluation du GIEC aux scénarios d'émissions publiés et étudiés au cours des 15 dernières années (Moss et autres, 2010).

Tableau 1.2. Émissions de CO₂ selon les projections du GIEC (SRES contre RCP) (inspiré de : Vuuren et Carter, 2014, p. 423).

Période (années)	Concentration de CO ₂ atmosphérique (en ppm)									
	SRES Rapport sur les scénarios d'émission (2001) 4 ^e rapport d'évaluation (2007)						RCP 5 ^e rapport d'évaluation (2014)			
	B1	A1T	B2	A1B	A2	A1F1	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
Préindustrielle (avant 19 ^e siècle)	278	278	278	278	278	278	278	278	278	278
2000	368	368	368	368	368	368	369	369	369	369
2020	411	411	407	419	416	416	412	411	409	416
2040	460	469	451	487	486	500	440	461	451	489
2060	506	526	502	568	574	632	442	509	511	604
2080	534	565	556	644	690	793	432	531	594	758
2100	545	579	616	710	846	964	421	538	670	936

Comme le démontre le tableau 1.2, les projections associées aux divers scénarios diffèrent légèrement. Par contre, les émissions prévues par les quatre scénarios RCP se situent à l'intérieur des limites des émissions prévues par les scénarios du (SRES) (Vuuren et Carter, 2014). Mis à part le RCP2.6, les scénarios RCP démontrent des tendances de concentrations de CO₂ similaires aux scénarios SRES (Vuuren et Carter, 2014). Les différences peuvent être attribuées aux choix de variables socioéconomiques et politiques considérés (Vuuren et Carter, 2014). Par exemple, les



scénarios RCP incorporent les impacts de mesures d'adaptation et de mitigation qui sont exclus des scénarios SRES (Moss et autres, 2010; Vuuren et Carter, 2014).

Un des scénarios SRES, ciblant une réduction des émissions, prévoit une stabilisation de la concentration atmosphérique de CO₂ à 450 ppm (GIEC, 2007a). En fait, ce scénario est actuellement celui visé par la communauté internationale pour minimiser les impacts du réchauffement planétaire. Selon les modèles climatiques utilisés, ce scénario limite la hausse de la température moyenne planétaire à 2 °C (GIEC, 2007a). En ce qui concerne les impacts, ce scénario évite, entre autres, la fonte des glaciers à l'ouest de l'Antarctique et du Groenland. La perte de ces glaciers entraînerait une hausse du niveau de la mer entre 2 et 7 mètres (m) et de fortes perturbations à la circulation thermohaline océanique (GIEC, 2007a; GIEC, 2014a). Selon une étude de Brayshaw et autres (2009), un ralentissement ou l'arrêt total de ces courants marins pourrait causer l'intensification des tempêtes et augmenter la portée de leurs trajectoires. Dans le but de réduire les risques de désastres naturels, il est donc souhaitable de viser la stabilisation de concentration atmosphérique de CO₂ à 450 ppm.

Seulement un des scénarios considérés par le GIEC prédit une concentration de CO₂ atmosphérique sous le seuil des 450 ppm (Vuuren et Carter, 2014). En fait, le scénario RCP2.6 prédit une concentration de CO₂ atmosphérique de 421 ppm en 2100 (Vuuren et Carter, 2014). Par contre, ce scénario implique une série de mesures de mitigation permettant, entre autres, la diminution des émissions de CO₂ (Vuuren et Carter, 2014). Puisque le cap des 400 ppm a déjà été franchi, sans la mise en place immédiate de mesures de mitigation et de stratégies internationales, le scénario optimiste, sous les 450 ppm, sera fort probablement difficile à atteindre (GIEC, 2014a). Les impacts sur le climat demeurent incertains, mais les probabilités de déclencher des événements météorologiques extrêmes sont significativement augmentées avec une concentration de CO₂ au-delà des 450 ppm (GIEC, 2007a). De plus, même si les émissions sont stabilisées, une certaine période de temps est requise pour que les effets du CO₂ actuels se stabilisent (Solomon et autres, 2009; GIEC, 2014a). En fait, l'élimination du total des émissions anthropiques de CO₂ par des processus naturels prendrait quelques centaines de milliers d'années (GIEC, 2014a). Plus spécifiquement, 15 à 40 % du CO₂ émis d'ici 2100 demeurerait dans l'atmosphère pendant au moins 1000 ans (Solomon et autres, 2009; GIEC, 2014a).

Selon le GIEC (2007b), les risques liés aux changements climatiques peuvent être évalués en identifiant les tendances observées des divers facteurs qui modulent le système climatique. Le tableau suivant présente les risques en lien avec des aléas naturels selon une augmentation de température de 1 à 5 °C. Un aléa naturel est un phénomène, manifestation ou évènement quelconque susceptible de causer des pertes humaines, des dommages ou des perturbations au développement socioéconomique d'une population (Québec, 2008).

Tableau 1.3. Relation entre l'augmentation de la température moyenne planétaire, la concentration atmosphérique de CO₂ et le risque d'aléas sévères (inspiré de : GIEC, 2007a, p. 787-789; GIEC, 2014b, p. 42-43).

Aléa	Tendances modulant le risque	Distribution géographique du risque	Relation entre l'augmentation de température et le risque					
			0 °C 350 ppm		2 °C 450 ppm	3 °C 550 ppm		5 °C 750 ppm
A. Cyclone tropical	+ Intensité + Fréquence + Distribution	<ul style="list-style-type: none"> Figure 1.5 (Zones de formation de cyclones). 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation des tempêtes avec des vents excédant 210 km à l'heure (catégorie 4-5). Les impacts sont amplifiés par la hausse du niveau de la mer. 		<ul style="list-style-type: none"> Augmentation continue de l'intensité des cyclones tropicaux excédant les normes de constructions actuelles. Pertes économiques importantes. Risque élevé de perte de vies humaines. 			
B. Inondation	+ Intensité + Fréquence	<ul style="list-style-type: none"> Latitudes moyennes et élevées Amérique du Nord et Europe 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de crues éclair dans plusieurs régions causée par une augmentation de l'intensité des pluies. Augmentation des inondations dans les grands bassins versants 		<ul style="list-style-type: none"> Augmentation des inondations causée par l'augmentation des pluies en hiver. Risque élevé de rupture des barrages érigés dans les lacs de glaciers de montagne. 			
C. Chaleur extrême	+ Intensité + Fréquence	<ul style="list-style-type: none"> Zones continentales 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation des vagues de chaleur. 		<ul style="list-style-type: none"> Augmentation rapide de la fréquence de vagues de chaleur élevant le risque de mortalité, la perte de récoltes, les feux de forêt et des dommages aux écosystèmes. 			
D. Sécheresse	+ Intensité + Fréquence	<ul style="list-style-type: none"> Zones continentales des latitudes moyennes 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la fréquence et l'intensité des périodes de sécheresse. 		<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la superficie de la zone de sécheresse extrême de 1 à 30 %. 			
E. Feu	+ Intensité + Fréquence	<ul style="list-style-type: none"> Zones continentales des latitudes moyennes 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la fréquence de feux, surtout où il y a des périodes de sécheresse. 		<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de l'intensité et de la fréquence dans la forêt boréale et la toundra, à la suite de la fonte du pergélisol. 			

Les experts du GIEC affirment, avec un degré de certitude élevé, que le risque d'évènements extrêmes démontre une tendance croissante (GIEC, 2014b). En fait, le tableau 1.3 démontre essentiellement que l'augmentation de la température moyenne planétaire entraîne plus fréquemment des aléas naturels de plus fortes intensités de ce qui peut être observé actuellement. Un aléa devient un désastre dans le cas où celui-ci cause une altération sévère dans le fonctionnement d'une société (Dolan et Walker, 2004; Secrétariat des Nations unies de la Stratégie internationale de prévention de catastrophes (ONUSIPC), 2007; GIEC, 2012).

La température moyenne planétaire est directement liée au budget énergétique de l'atmosphère qui module le taux d'évaporation, l'humidité et la circulation atmosphérique (GIEC, 2014a). L'augmentation de la température, en fonction de la concentration atmosphérique de CO₂, entraîne principalement une augmentation de la fréquence et de l'intensité des fortes précipitations et des vagues de chaleur (GIEC, 2014b). Les liens entre les changements climatiques et les cyclones tropicaux sont indéterminés, par contre, la hausse du niveau de la mer, l'augmentation du taux de précipitation et l'augmentation de la température de surface des océans amplifient le degré d'exposition aux aléas et la vulnérabilité des populations côtières (GIEC, 2014b).

Les changements observés au cours du dernier siècle (qui sont associés à une augmentation de la température moyenne planétaire de 0,74 °C) permettent de déterminer les liens et la sensibilité des facteurs naturels perturbés et d'identifier les tendances (Chester et autres, 2012). Pour l'Asie du Sud, les tendances anticipées incluent un impact sur la formation de cyclones (A. Cyclone tropical) et sur la variabilité du cycle de la mousson (B. Inondation, C. Chaleur extrême et D. Sécheresse). Les aléas A, B, C et D du tableau 1.3 sont donc les phénomènes hydrométéorologiques considérés dans le cadre de cette étude.

1.1.1. Cycle de la mousson

Le cycle de la mousson asiatique est unique dans le système climatique terrestre puisqu'il comporte le transfert de chaleur et d'humidité entre la plus grande masse continentale et le plus grand bassin océanique. Les vents de la mousson soufflent de l'Indo-Pacifique, en passant par le subcontinent indien, jusqu'au plateau tibétain où ils rencontrent l'Himalaya, la chaîne de montagnes la plus élevée de la Terre. Ces facteurs géographiques sans égaux ainsi que la

progression normale des saisons mettent en place tous les éléments nécessaires pour établir le climat de l'Asie du Sud (Wang, 2006). La figure suivante situe l'Asie du Sud et indique la séparation approximative entre ses zones climatiques.

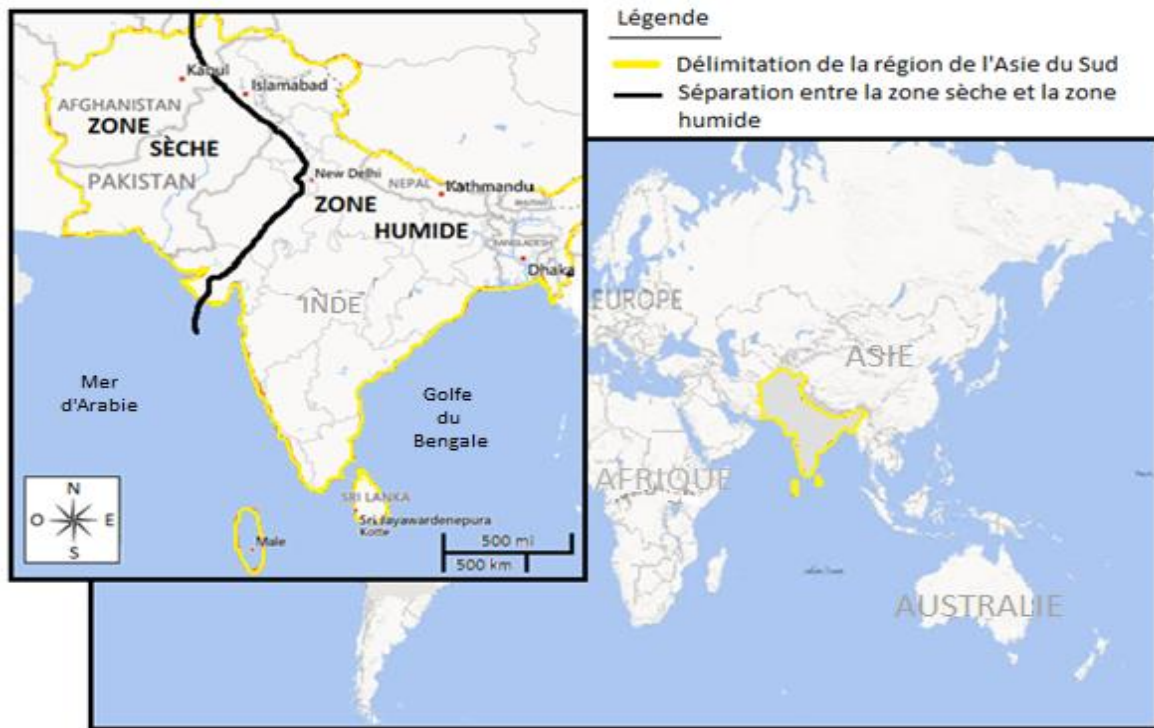


Figure 1.4. Carte de l'Asie du Sud indiquant la séparation entre ses zones climatiques (inspirée de Lal, 2011, p. 5).

La zone sèche, qui inclut l'Afghanistan, la majorité du territoire pakistanais et le nord-ouest de l'Inde, est dominée par des vents secs du continent eurasiatique qui limitent l'intrusion de la masse d'air humide (Gadgil, 2007; Lal, 2011). La zone humide, sous l'effet direct de la mousson, est celle qui s'étend sur la majorité du territoire indien, le Népal, le Bhoutan, le Bangladesh, les Maldives et le Sri Lanka (Gadgil, 2007; Lal, 2011).

Un élément clé de la mousson est le mouvement de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) qui forme une bande nuageuse autour de l'équateur. Lorsque la ZCIT se déplace, entre les latitudes de 20°N et 20°S, les puissants vents qui y sont liés remplacent les vents de surface régionaux et favorisent le transport d'humidité (Gadgil, 2007). La migration saisonnière de la ZCIT

est considérée le facteur principal dans le contrôle du cycle de la mousson (Wang, 2006; Gadgil, 2007). Par contre, les caractéristiques physiques particulières aux régions où elle se trouve affectent sa disposition et ses impacts (Gadgil, 2007). En fait, le mouvement de convection, essentiel au déclenchement de la mousson, est créé par le réchauffement du subcontinent indien, au printemps et en début d'été (Gadgil, 2007). L'augmentation de la température continentale crée une zone de basse pression atmosphérique qui alimente le déplacement de l'air frais et humide de l'océan et contribue à la formation de nuages (Gadgil, 2007).

La chaîne de montagnes de l'Himalaya a également son rôle à jouer dans la formation et l'intensité de la mousson (Wu et autres, 2012). En fait, l'Himalaya est particulièrement important pour la mousson au nord de l'Inde, où son influence est plus évidente. Les montagnes qui atteignent une élévation au-delà des 7000 m influencent l'intensité et l'étendue des précipitations du nord de l'Inde jusqu'au Pakistan (Wu et autres, 2012). L'Himalaya est essentiel à la formation d'une seconde basse pression atmosphérique au nord de l'Asie du Sud qui permet aux effets de la mousson d'atteindre l'intérieur du continent (Wang, 2006; Wu et autres, 2012). Les montagnes dévient les vents vers le nord-ouest et contribuent ainsi à étendre la portée des précipitations emmenées par la mousson (Wu et autres, 2012).

Le fonctionnement général de la mousson est bien établi, mais la variabilité des mécanismes de l'interaction entre l'atmosphère, l'océan et le continent est encore sous investigation (Wang, 2006). Il n'en demeure pas moins que ce système est vital au climat de l'Asie du Sud, et surtout le subcontinent indien où il dicte le fonctionnement des processus naturels (Sijikumar et autres, 2013).

Concrètement, dans le cas de l'Inde, environ 75 % des pluies annuelles ont lieu au cours des mois de la mousson (Wang, 2006; Sen, 2010). La mousson entraîne des pluies torrentielles, des tempêtes et des vents violents sur pratiquement tout le continent asiatique à partir du mois de juin et façonne le style de vie de près de 60 % de la population mondiale (Wang, 2006). L'arrivée de la mousson est normalement signalée par de fortes pluies sur la côte au sud-ouest de l'Inde. À ce moment, les vents transportant l'humidité accumulée du bassin océanique soufflent vers le nord-est en direction du Népal et des montagnes de l'Himalaya (Wang, 2006).

Puisque ce cycle est complexe, les résultats des modèles sont moins fiables (Sivikumar et Stefanski, 2011). La variabilité annuelle de la mousson complique l'élaboration de prévisions par le fait que plusieurs facteurs autres que les changements climatiques peuvent entrer en ligne de compte (figure 1.1) (Wang, 2006). Par contre, il est fort probable que les changements observés au cours des dernières décennies soient représentatifs de ce qui est à venir.

Les inondations et les périodes de sécheresse associées au cycle de la mousson sont normales et varient selon l'intensité des précipitations (Wang, 2006). Par contre, selon Lal (2003), les précipitations au-dessus du subcontinent indien durant l'hiver pourraient diminuer de 5 à 25 % et le déclenchement de la mousson pourrait être retardé. La diminution des précipitations en hiver jumelée à l'augmentation de la température continentale augmente le risque de périodes de sécheresse prolongées et, dans certains cas, de feux.

Inversement, l'augmentation de l'intensité des précipitations en été, lors de la mousson, augmente le risque d'inondation et de crues-éclair. Une augmentation générale de la température de l'atmosphère risque d'augmenter la probabilité d'occurrence d'un déversement de pluie extrême (Lal, 2003). Selon certaines projections, les pluies de la mousson pourraient augmenter de 5 à 15 % du niveau actuel (Lal, 2003; GIEC, 2014a). La quantité de pluie totale ne changerait pas nécessairement, par contre, l'intensité des déversements serait fortement amplifiée. En fait, les averses saisonnières habituelles sur tout le subcontinent indien seraient remplacées par des déversements torrentiels dans les régions côtières (GIEC, 2014c).

Malgré certains doutes, les projections semblent indiquer que le cycle de la mousson sera non seulement maintenu, mais amplifié (Lal, 2003). Au cours des 20 dernières années, une augmentation de la fréquence des vagues de chaleur, des sécheresses et des inondations a été observée sur la côte est de l'Inde (Lal, 2003). Ces aléas naturels sont tous communs dans la région, mais l'intensité, la fréquence et la distribution maintiennent une tendance croissante (Lal, 2003). Il est difficile d'affirmer avec certitude que les changements climatiques soient en cause, mais plusieurs experts dans le domaine semblent être d'accord pour leur inculper le blâme (Lal, 2003; GIEC, 2014a).

En plus de provoquer des déversements de pluie torrentiels, le passage de la mousson favorise la formation de cyclones (Wu et autres, 2013). Au cours des dernières dix années, entre les mois de

mai à octobre, un total de 31 moussons ont été associées à la formation de 42 cyclones tropicaux (Wu et autres, 2013). Selon l'intensité de la mousson, la basse pression atmosphérique au-dessus de subcontinent indien peut produire un vortex cyclonique atteignant un diamètre de 2500 km (Wu et autres, 2013). L'instabilité atmosphérique créée par une mousson intense alimente la formation de cyclones tropicaux en favorisant l'organisation des tempêtes en un énorme tourbillon (Warf, 2010).

Malgré le fait que de nombreux cyclones ont été associés à la mousson, ceux-ci représentent seulement environ 20 % des cyclones formés au cours des dix années étudiées par Wu et autres (2013). L'instabilité atmosphérique associée à la mousson demeure un facteur crucial dans leur formation, par contre, la majorité des cyclones se forment avant et après le passage de la mousson au mois de mai, d'octobre et de novembre (Singh, 2010a; Mahendra et autres, 2011). Le tableau suivant présente un sommaire des risques mentionnés dans cette section.

Tableau 1.4. Sommaire des risques d'aléas associés au cycle de la mousson en Asie du Sud.

Aléas naturels	Risques	Description	Données/Statistiques
B. Inondation	Augmentation de l'étendue et de la durée des inondations.	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la quantité de pluie par averse ou tempête (pluies torrentielles) occasionnant des crues éclairs. Débordement de l'infrastructure et des écosystèmes qui augmente l'étendue et la durée des inondations. 	Augmentation de 5 à 15 % des pluies en été.
C. Chaleur extrême	Périodes de chaleur prolongées.	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la température au-dessus du continent. Augmentation de la probabilité de sécheresse et de feux. 	Fréquence plus élevée de journées et de nuits chaudes occasionnant des vagues de chaleur accablantes. (tableau 1.3)
D. Sécheresse	Augmentation de la température et réduction de la quantité de pluie.	Combinaison de périodes de chaleur extrême prolongées et réduction de la quantité de pluie qui occasionne l'épuisement des stocks d'eau pour la consommation et les activités humaines.	<ul style="list-style-type: none"> Réduction de 5 à 25 % des pluies en hiver. Retard de l'arrivée de la mousson d'été.

1.1.2. Cyclones tropicaux

Parmi les divers impacts mentionnés dans la section 1.1.1, un des plus importants est l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des cyclones qui se forment au nord de l'océan Indien, soit dans la mer d'Arabie ou le golfe du Bengale. Un orage devient une tempête tropicale lorsque les vents dépassent 17 m par seconde, ou 62 km à l'heure, et un cyclone tropical lorsque les vents s'élèvent au-delà de 33 m par seconde, ou 119 km à l'heure (Warf, 2010; Organisation météorologique mondiale (OMM), s.d.). Qu'il soit question d'un cyclone, d'un typhon ou d'un ouragan, il s'agit du même phénomène météorologique. Le terme employé ne reflète pas le type de tempête ou son intensité, mais plutôt son lieu de formation. Les cyclones, typhons et ouragans sont donc tous des cyclones tropicaux qui se manifestent dans la mer d'Arabie ou le golfe du Bengale, dans l'océan Pacifique à l'ouest du 180^e méridien et dans l'océan Atlantique

respectivement (Warf, 2010). Selon l'échelle de Saffir-Simpson, les cyclones tropicaux peuvent être classifiés en cinq catégories selon la vitesse maximale soutenue des vents:

- Catégorie 1 : 119 à 153 km à l'heure;
- Catégorie 2 : 154 à 177 km à l'heure;
- Catégorie 3 : 178 à 209 km à l'heure;
- Catégorie 4 : 210 à 249 km à l'heure;
- Catégorie 5 : 249 km à l'heure et plus (OMM, s.d.).

La figure 1.5 démontre les dangers de vents cycloniques à l'échelle planétaire selon un historique compilé depuis 250 ans. De plus, la figure situe l'Asie du Sud au centre d'une zone propice à la formation de vents cycloniques et des tempêtes violentes qui y sont associées.

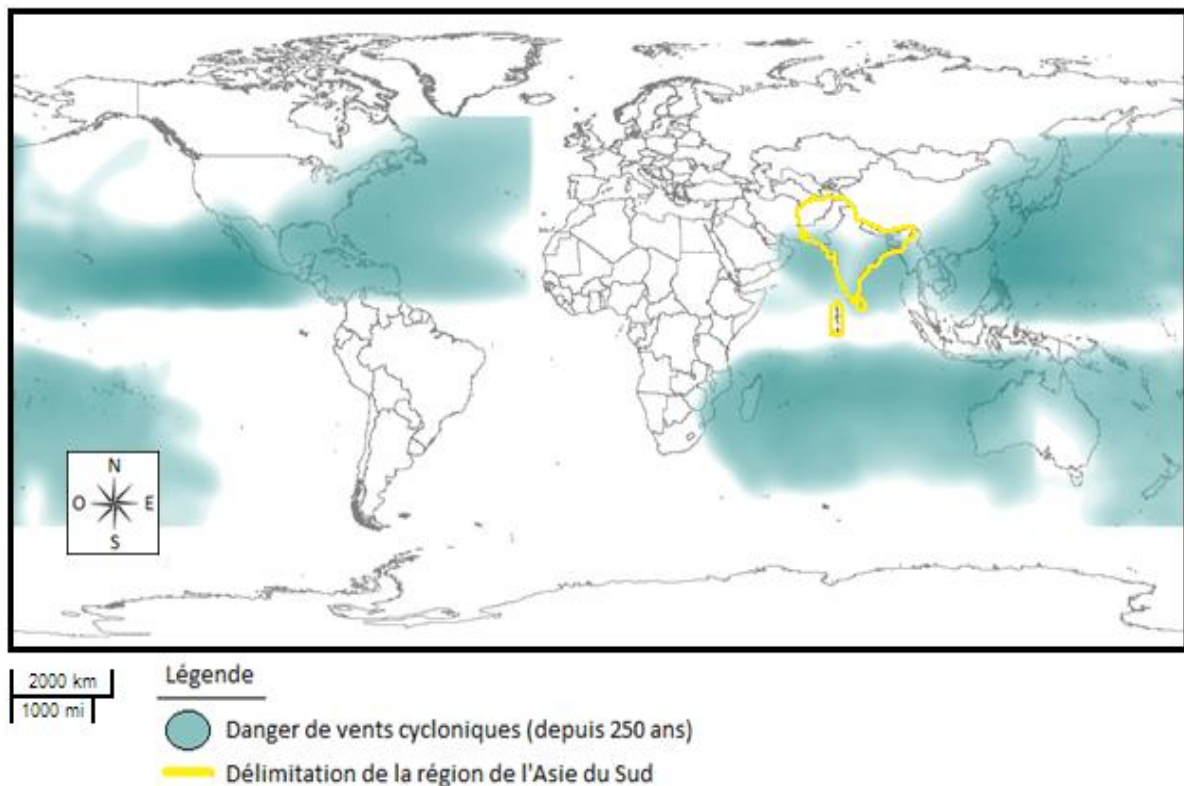


Figure 1.5. Zones de formation de cyclones à l'échelle planétaire (inspiré de : *Global Assessment Report (GAR)*, 2013).

Selon l'étude de Singh (2010b), au cours des 40 dernières années, la fréquence de formation de cyclones a triplé dans le nord de l'océan Indien. Les populations côtières de l'Inde, du Sri Lanka et du Bangladesh doivent faire face à l'arrivée de trois cyclones par années plutôt qu'un comme était le cas auparavant (Singh, 2010a). Selon les prévisions du GIEC (2007b), l'augmentation de la température des océans pourrait éventuellement entraîner une diminution de la fréquence des cyclones, mais augmenter significativement la force de ceux qui parviennent à se former. Selon Sivikumar et Stefanski (2011), l'intensité des cyclones augmenterait de 10 à 20 % avec une augmentation de température de 2 à 4 °C. Ces puissants cyclones, avec des vents excédant les 210 km à l'heure (catégories 4-5), jumelés à la hausse du niveau de la mer, augmenteraient les ondes de tempêtes et causeraient d'énormes dommages aux populations côtières (GIEC, 2007a).

Au nord de l'océan Indien, en moyenne quatre cyclones se forment par année : trois du côté du golfe du Bengale, à l'est, et un dans la mer d'Arabie, à l'ouest (Singh, 2010a). Ces cyclones sont responsables de tempêtes violentes augmentant la probabilité d'occurrence d'un désastre naturel dans les régions côtières. Le tableau suivant met de l'avant un bref historique des formations cycloniques de la région du golfe du Bengale au cours des quatre dernières décennies pour le mois de mai, octobre et novembre lorsque la formation de cyclones est généralement plus fréquente. Toutes les tempêtes tropicales avec des vents excédants 89 km à l'heure sont incluses dans ce tableau pour mettre en évidence la tendance globale.

Tableau 1.5. Fréquence de formations cycloniques du golfe du Bengale depuis 1971 (inspiré de : Singh, 2010a, p 259).

Période (quinquennat)	Fréquence de cyclones		
	Mai	Octobre	Novembre
1971-1975	1	1	5
1976-1980	3	1	6
1981-1985	3	5	4
1986-1990	2	1	4
1991-1995	0	1	4
1996-2000	2	2	5
2001-2005	2	0	1

En ce qui concerne les cyclones sévères, de catégorie 3 et plus, la fréquence a pratiquement quintuplé en comparaison avec la moyenne d'il y a 30 ans (Singh, 2010b). Au lieu de faire face à un

cyclone puissant tous les cinq ans, les populations côtières du nord de l'océan Indien doivent maintenant en prévoir un annuellement (Singh, 2010b). Les tendances actuelles démontrent clairement que ce n'est pas seulement la fréquence, mais bien l'intensité qui est à la hausse. La puissance et les dimensions de ces tempêtes augmentent drastiquement les probabilités de causer un désastre.

Tableau 1.6. Sommaire des risques d'aléas associés aux cyclones en Asie du Sud.

Aléas naturels	Risques	Description	Données/Statistiques
A. Cyclone tropical	Augmentation de la fréquence et de l'intensité des cyclones.	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la fréquence de cyclones sévères (catégorie 3 et plus) occasionnant la destruction de bâtiments et la perte de vie humaine. Combinaison avec la hausse du niveau de la mer entraîne l'augmentation de la portée des ondes de tempêtes. 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de 10 à 20 % de l'intensité des tempêtes Vents excédant 210 km à l'heure catégories 4-5 (tableau 1.3). Fréquence annuelle triplée.

1.2. Vulnérabilité des populations côtières

Les descriptions du climat de l'Asie du Sud et de l'influence des changements climatiques permettent d'établir la base nécessaire pour l'identification du risque d'aléas naturels. Par ailleurs, l'occurrence d'un désastre naturel dépend également du degré de vulnérabilité des populations locales. C'est-à-dire, selon la structure d'organisation d'une population et l'utilisation de son environnement, un même aléa peut devenir un désastre dans une région, mais ne pas laisser d'empreintes apparentes dans une autre.

Selon Dolan et Walker (2004), deux facteurs influencent les impacts d'un aléa naturel : le degré d'exposition et la vulnérabilité des populations exposées. En ce qui a trait au degré d'exposition, il est évident que l'Asie du Sud et, particulièrement, ses régions côtières entourant le golfe du Bengale doivent faire face à une abondance inégalée d'aléas naturels. L'évaluation du risque doit évidemment intégrer les processus physiques et environnementaux, mais ne peut laisser de côté l'importance de la vulnérabilité sociale (Roberts et autres, 2009; Joseph, 2013). La vulnérabilité

peut être définie comme une condition résultant de divers facteurs physiques, sociaux, économiques et environnementaux qui prédisposent une région exposée à subir des dommages d'un aléa (Québec, 2008). Les principaux facteurs ayant le potentiel d'influencer le degré de vulnérabilité sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 1.7. Description des facteurs de vulnérabilité (compilation d'après : Québec, 2008, p. 33; Zakour et Gillespie, 2013, p. 24-27).

Facteur de vulnérabilité	Description
1) Proximité de l'aléa	La localisation d'une population en relation avec le lieu d'origine, l'étendue et la trajectoire des aléas naturels détermine les dommages subis.
2) Structure démographique	Les caractéristiques socioculturelles d'une population influencent sa structure d'organisation, ses valeurs et priorités ainsi que sa capacité d'intervention dans le cas du passage d'un aléa.
3a) Taux de pauvreté	La croissance économique de la population et la répartition de la richesse déterminent les ressources financières disponibles pour l'intervention et l'adaptation dans le cas de passage d'un aléa.
3b) Ressources disponibles	Les ressources financières, matérielles et humaines disponibles permettent le maintien ou la construction d'infrastructure, la mise en œuvre de mesures préventives et l'intervention dans le cas du passage d'un aléa.
3c) État des bâtiments et de l'infrastructure	La capacité des bâtiments et de l'infrastructure à encaisser les impacts d'un aléa naturel est directement liée à leur état et la qualité de leur construction. Le maintien, le suivi et la modernisation des installations entrent également en ligne de compte.
4a) Capacité de réponse des autorités gouvernantes	L'organisation et la prise en charge de la gestion des risques et impacts des aléas naturels par les autorités gouvernantes créent un cadre d'action qui permet aux autorités de réduire le niveau de risque et limiter les dommages subis.
4b) Mesures de prévention	L'approche préventive à la gestion des risques de désastres naturels réduit les dommages subis et diminue la nécessité d'une intervention à grande échelle après le passage d'un aléa naturel.

L'expression des facteurs énumérés dans le tableau 1.7 est hautement variable selon le contexte régional. Une étude qualitative approfondie qui porte spécifiquement sur le lieu d'étude doit être effectuée pour évaluer le degré de vulnérabilité et former une image plus complète du risque de

désastres naturels (chapitre 2). Par contre, certaines généralités peuvent être identifiées en ce qui a trait aux facteurs de vulnérabilité et leur influence sur le niveau de risque d'une population.

Dans le cas de la zone côtière, en général, le principal facteur de vulnérabilité est la proximité des océans, porteurs des aléas (Sivikumar et Stefanski, 2011). La variété d'aléas possible et l'étendue de leurs impacts jouent un rôle important dans la vulnérabilité d'une région (Dilley et autres, 2005). La localisation d'une population dans une zone ayant un risque élevé de subir un aléa naturel peut déterminer l'occurrence d'un désastre (ONUSIPC, 2001).

Les aléas qui affectent les régions plus éloignées doivent également être considérés dans la mesure où ils restreignent l'accès aux ressources financières, matérielles ou humaines qui permettent le rétablissement de la communauté affectée (Dolan et Walker, 2004; Brenkert et Malone, 2005). La dégradation des écosystèmes ou la destruction d'infrastructure à l'écart de la population peut avoir des impacts tout aussi importants (Québec, 2008). Les sources d'eau potable, les aires cultivables ou les infrastructures énergétiques, dont dépendent les populations, sont souvent situées à l'extérieur des zones peuplées. La destruction de ces ressources essentielles peut engendrer un désastre naturel, même si la population n'a pas été frappée directement (Québec, 2008). Malgré le rôle prépondérant de la proximité de l'aléa, la structure démographique, l'état de l'économie locale et la capacité d'intervention des autorités gouvernantes régionales contribuent également au degré de vulnérabilité (Dolan et Walker, 2004; Mallick et autres, 2011).

La structure démographique influence également la vulnérabilité d'une population surtout en ce qui concerne la répartition des ressources et l'appui reçu. Certains groupes d'âge, comme les personnes âgées ou les enfants, sont normalement considérés les plus à risques puisqu'ils ne peuvent subvenir à leurs propres besoins (Zakour et Gillespie, 2013). Les membres de ces groupes doivent donc être pris en charge et soutenus par la population. Cette responsabilité tombe généralement entre les mains du groupe d'âge moyen, de 35 à 60 ans (Zakour et Gillespie, 2013). Selon la structure démographique spécifique à la région, cette responsabilité peut être un lourd fardeau qui épuise le peu de ressources disponibles et perturbe le processus de rétablissement. Selon Zakour et Gillespie (2013), la relation entre les effets d'un désastre et la structure démographique est variable. Le degré de cohésion sociale dépend du contexte culturel et des

valeurs partagées par la population. Par ailleurs, sans les ressources ou des mécanismes sociaux efficaces, peu de démarches peuvent être entreprises pour amorcer le rétablissement ou la reconstruction.

Le taux de pauvreté, l'état des bâtiments et des infrastructures et les ressources disponibles sont étroitement liés les uns entre les autres et découlent directement de l'état de l'économie locale. Par exemple, le taux de pauvreté d'une population détermine les ressources disponibles pour la construction et le maintien des bâtiments et des infrastructures (Dolan et Walker, 2004). Sans le financement ou les ressources matérielles pour les remettre à neuf, elles perdent leurs utilités et peuvent contribuer à l'augmentation du niveau de risque de désastres naturels.

Sans un état économique prospère, la résilience d'une population peut être sévèrement compromise (Dolan et Walker, 2004). Dans ce contexte, la résilience se définit comme l'aptitude d'une population à s'adapter pour établir et maintenir un niveau de fonctionnement acceptable dans le cas du passage d'un ou plusieurs aléas naturels (Québec, 2008). La résilience et la vulnérabilité peuvent difficilement être séparées. En fait, il est possible de les considérer comme les revers d'une même pièce de monnaie (Sapountzaki, 2012). Dans ce sens, les facteurs de vulnérabilité décrits dans le tableau 1.7 s'appliquent également à la résilience. Par exemple, la population est dite vulnérable lorsque la pauvreté est prévalente tandis qu'elle devient résiliente dans le cas contraire.

La capacité de réponse des autorités gouvernantes et la présence de mesures pour prévenir ou limiter les effets de l'aléa peuvent également être liées entre elles. Les mesures de prévention ou de mitigation sont généralement mises en place par les autorités gouvernantes et constituent donc des composantes importantes de leur capacité de réponse. Dans le cas où ces mesures sont inexistantes ou inefficaces, les autorités gouvernantes doivent enclencher des démarches de reconstruction et d'adaptation plus laborieuses et souvent moins avantageuses (ONUSIPC, 2007). La capacité du gouvernement à appuyer sa population peut être un facteur important dans l'occurrence d'un désastre (Dolan et Walker, 2004; Brenkert et Malone, 2005). L'efficacité et l'intégrité du gouvernement suite au passage d'un aléa déterminent, entre autres, l'allocation des ressources et de l'appui aux personnes ayant subi des pertes matérielles (Dolan et Walker, 2004).

La perception et la connaissance du risque sont également des facteurs cruciaux fortement influencés par les autorités gouvernantes (Dolan et Walker, 2004). Les populations à risque d'un aléa naturel doivent avoir accès à l'information nécessaire pour leur permettre de se préparer. La diffusion d'information peut permettre aux citoyens de se protéger par eux-mêmes et diminuer leur vulnérabilité sans que le gouvernement soit forcé d'agir (ONUSIPC, 2001).

1.3. Impacts observés

Les impacts observés dans la région de l'Asie du Sud sont le résultat de la probabilité d'occurrence des aléas naturels (tableaux 1.4 et 1.6) et des vulnérabilités propres aux divers contextes régionaux. Pour cette raison, la distribution des impacts est variable et plus facilement visualisée à l'aide de cartes géographiques. La figure suivante démontre les pertes économiques totales subies à l'échelle planétaire occasionnées par les désastres naturels et démontre que l'Asie du Sud est parsemée de régions avec un niveau de risque élevé.

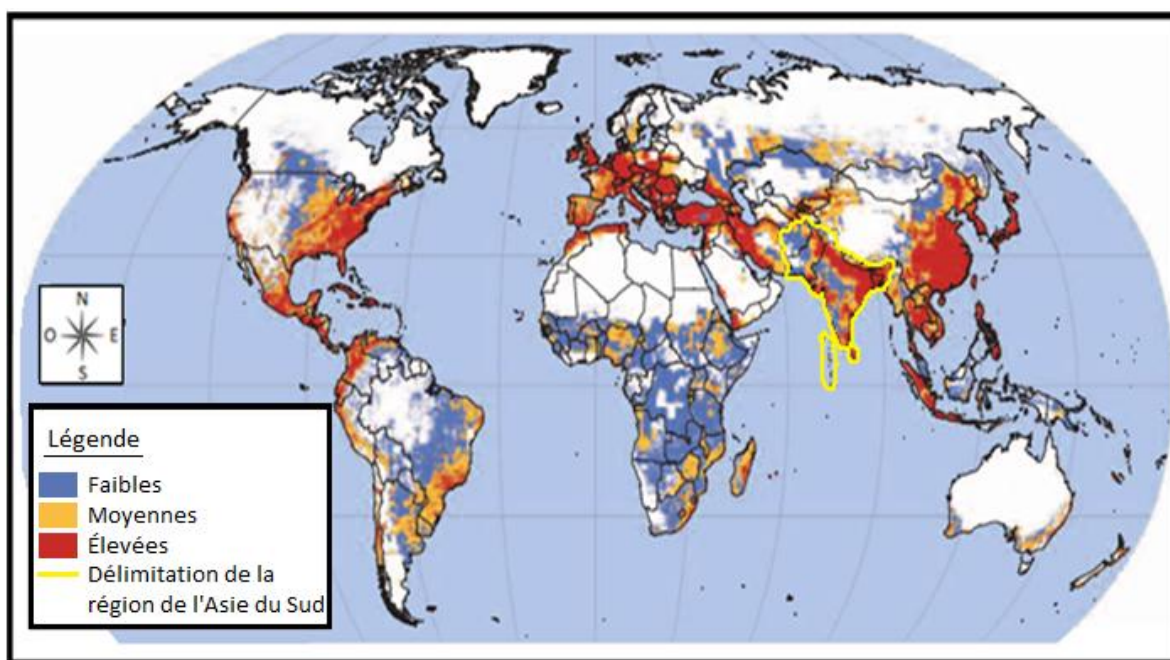


Figure 1.6. Pertes économiques totales associées à l'occurrence de désastres naturels (inspirée de Dilley et autres, 2005, p. 83).

Comme le démontre la figure 1.6, le nord et la côte est de l'Inde font partie des régions avec un niveau de risque particulièrement élevé. En fait, en Inde, les pertes économiques causées par

l'ensemble des désastres naturels s'élèvent à environ 1,55 milliard de \$ US par année (*PreventionWeb*, 2010).

Depuis 1967, les cyclones et les inondations ont été responsables de 90 % des désastres naturels survenus sur le subcontinent indien (ONUSIPC, 2010). En plus du ralentissement des activités économiques, ces aléas causent d'énormes dommages aux bâtiments et à l'infrastructure. Selon une analyse des points chauds de désastres naturels, effectuée par Dilley et autres (2005), la majorité du pays, et particulièrement sa côte est, est parmi les régions les plus à risque d'inondations au monde. De plus, la côte est se trouve dans la trajectoire de la majorité des cyclones qui se forment au-dessus du golfe du Bengale (figure 1.5).

La figure suivante démontre le taux de mortalité causé par les aléas hydrométéorologiques en Inde, incluant les cyclones, les périodes de sécheresse et les inondations. Les cartes de la figure 1.7 confirment la localisation de la côte est parmi l'aire de distribution des deux aléas hydrométéorologiques principalement responsable des désastres naturels : les inondations et les cyclones.

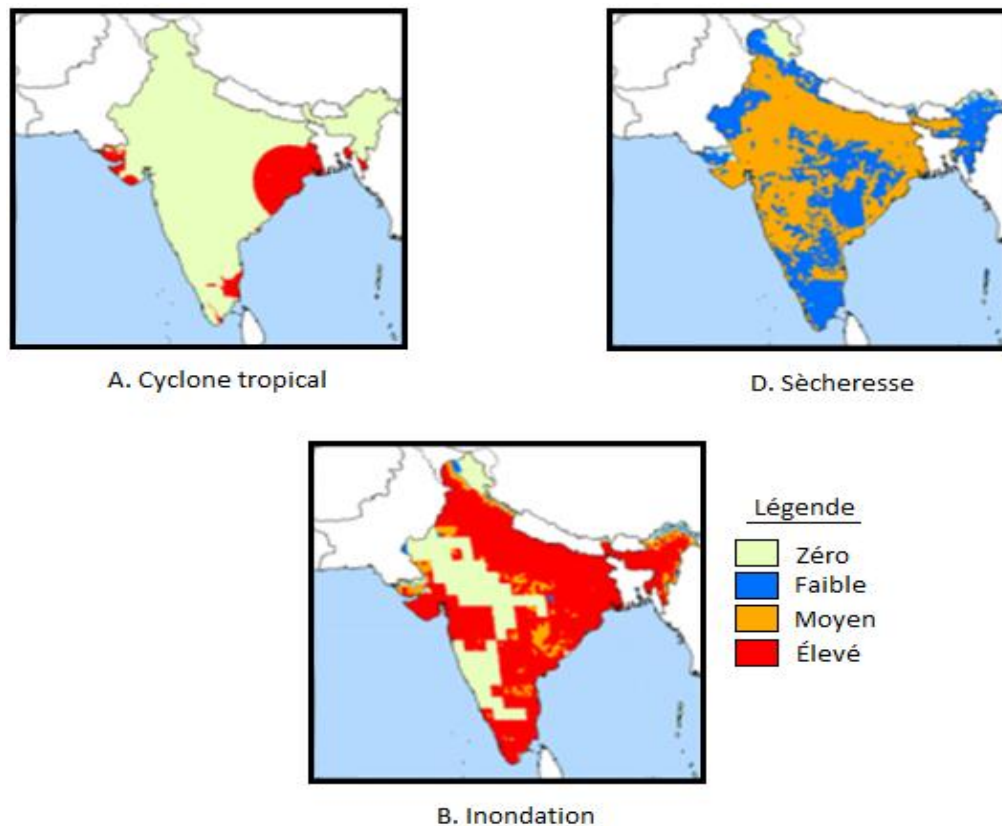


Figure 1.7. Taux de mortalité en Inde causé par trois types d'aléas naturels (A. Cyclone tropical, B. Inondation et D. Sècheresse) (inspiré de : *Center for Hazards and Risk Research (CHRR), 2005*).

Environ 90 % des dommages subis sur la côte est de l'Inde sont engendrés par l'inondation des zones habitées par l'eau de mer (Mahendra et autres, 2011). Considérant la fréquence de la formation de cyclones du côté du golfe du Bengale (tableau 1.5) et la distribution des aléas hydrométéorologiques (figure 1.7), le niveau de risque de la région de la côte est indienne est très élevé. Pour cette raison, cette région est sélectionnée comme lieu d'étude et un profil de ces vulnérabilités est dressé dans le chapitre suivant. Le tableau 1.8 présente le sommaire des impacts des quatre aléas naturels en Inde et permet de confirmer la sélection de la côte est de l'Inde comme lieu d'étude.

Tableau 1.8. Sommaires des impacts d'aléas naturels observés en Inde (compilation d'après : CHRR, 2005; ONUSIPC, 2010; PreventionWeb, 2010).

Aléa	Région à risque élevé	Fréquence annuelle (moyenne approximative)	Pertes économiques (par évènement)	Taux de mortalité	Prévisions Changements climatiques (tableau 1.4+1.6)
A. Cyclone tropical	Régions côtières du nord-est et sud-est Golfe du Bengale (figure 1.5 et 1.7)	2,95	109 035 640 \$ US	1 219 personnes (moyenne annuelle)	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation des tempêtes avec des vents excédant 210 km à l'heure (catégorie 4-5). • Augmentation de 10 à 20 % de l'intensité des tempêtes.
B. Inondation	Tout le pays (sauf les régions du centre et du sud-ouest) (figure 1.7)	5,95	164 612 110 \$ US	1 308 personnes (moyenne annuelle)	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de 5 à 15 % des pluies en été. • Augmentation de crues éclaircies dans plusieurs régions causée par une augmentation de l'intensité des pluies.
C. Vague de chaleur	Tout le pays (surtout les régions du centre)	1,25	14 315 790 \$ US	301 personnes (moyenne annuelle) 2541 personnes (en 1998)	Fréquence plus élevée de journées et de nuits chaudes occasionnant des vagues de chaleur accablantes.
D. Sècheresse	Tout le pays (risque moyen et faible) (figure 1.7)	0,25	291 588 860 \$ US	202 401 par évènement (moyenne calculée sur 21 évènements de 1900 à 2004)	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la superficie de la zone de sécheresse extrême de 1 à 30 %. • Réduction de 5 à 25 % des pluies en hiver. • Retard de l'arrivée de la mousson d'été.

CHAPTITRE 2. DESCRIPTION DU LIEU D'ÉTUDE

La section 1.3 a mis en évidence les endroits les plus à risque d'un désastre naturel causé par des aléas hydrométéorologiques (figure 1.6 et 1.7). Parmi ces endroits, celui reconnu comme ayant le niveau de risque le plus élevé, la côte est de l'Inde, a été retenu pour une étude approfondie. Le présent chapitre sert principalement à décrire ce lieu d'étude. Les principales caractéristiques physiques, sociales, culturelles et économiques qui influencent son niveau de vulnérabilité, de résilience et de risque sont mises de l'avant. Ces caractéristiques incluent, entre autres :

- Géomorphologie
- Climat
- Démographie
- Scolarisation
- Revenus
- Structure administrative
- Infrastructures
- Activités et développement économique
- Utilisation du sol
- Cadre législatif

2.1. Caractéristiques physiques

La trajectoire et la sévérité des impacts d'un aléa naturel sont fortement influencées par les caractéristiques physiques régionales. Ces caractéristiques incluent, entre autres, le climat, la géomorphologie de la côte, les courants marins et les vents dominants. Dans le cas de la région côtière de l'est de l'Inde, ces caractéristiques sont hautement variables et une approche régionale est préférable (Mujabar et Chandrakesar, 2013). Par contre, d'un point de vue physiographique, tout le territoire occupé par la côte est fait partie de la zone des plaines côtières qui s'étend sur plus de 7000 km (Mahendra et autres, 2011). La carte de la figure 2.1 permet d'identifier les différentes zones physiographiques de l'Inde et, plus particulièrement, mettre en évidence la délimitation de la zone côtière étudiée.

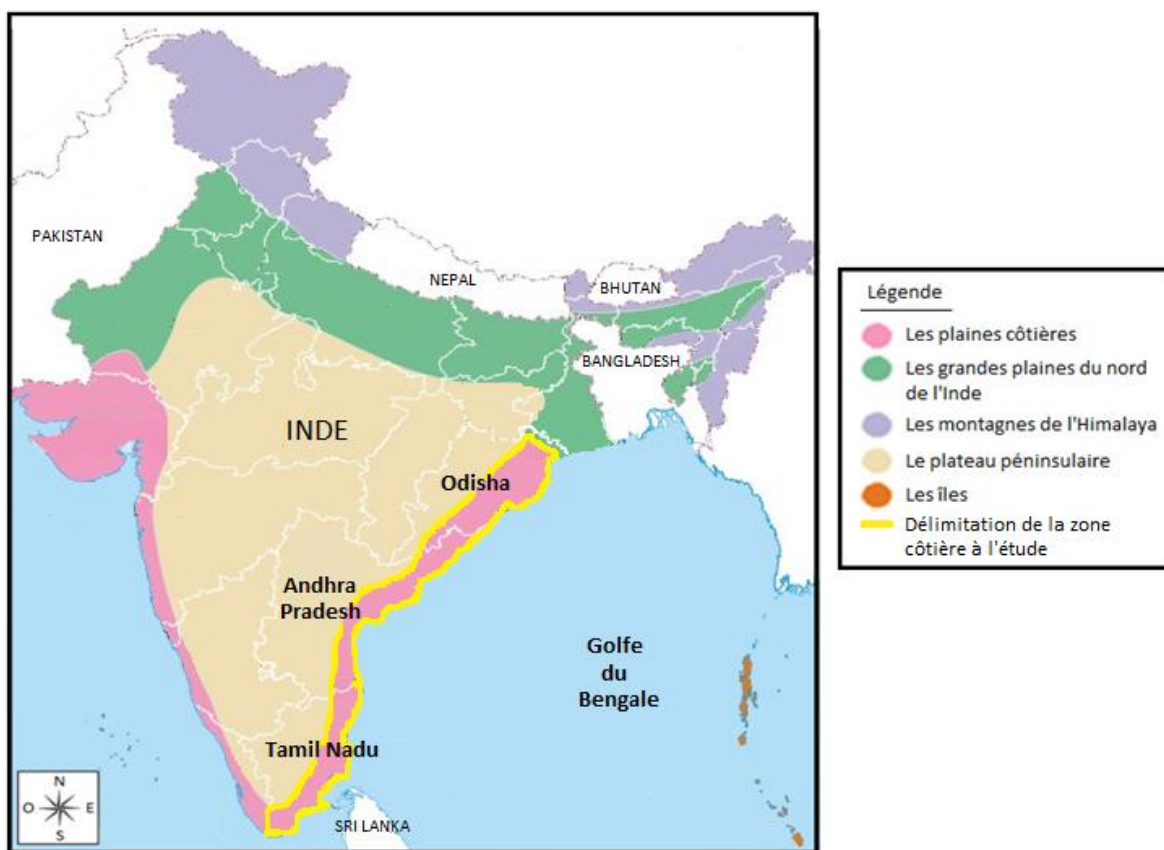


Figure 2.1. Carte indiquant les zones physiographiques de l'Inde (inspirée de : MapsofIndia.com, 2007).

Le lieu d'étude est composé des zones côtières de l'état du Tamil Nadu, au sud, jusqu'à la frontière de l'état d'Odisha, au nord-est. La figure 2.1 identifie les plaines côtières, en rose, s'élevant vers le nord d'Odisha, où les grandes plaines du nord de l'Inde, en vert, rejoignent le golfe du Bengale. La région est bornée par l'eau du golfe du Bengale, à l'est, et les montagnes de la chaîne des Ghats orientaux, à l'ouest. Cette région, répartie sur trois états, est la cible de l'étude et constitue une des régions avec le niveau de risque de désastre naturel le plus élevé de notre planète (Brenkert et Malone, 2005).

En ce qui concerne le climat, son influence sur la côte est indienne est relativement uniforme et dépend de la variabilité annuelle du cycle de la mousson. La côte est de l'Inde est une des régions les plus fortement affectées par la mousson, du fait qu'elle reçoit la plus grande quantité de pluie (Mirza, 2010). En fait, la moyenne annuelle de précipitations dépasse les 2500 millimètres (mm)

dans plusieurs secteurs (Mirza, 2010). En comparaison, les précipitations annuelles totalisent en moyenne 1000 mm au Québec, dont environ 75 % sous forme de pluie (Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEP), 2012). D'autre part, environ trois cyclones violentent cette côte chaque année et nuisent au développement des populations locales (section 1.1.2) (Singh, 2010a). Par contre, ces facteurs à eux seuls ne déterminent pas la vulnérabilité de la région. La géomorphologie, ou la structure physique particulière de la côte, détermine, par exemple, la portée des ondes de tempêtes et l'étendue des inondations (Kumar et autres, 2010).

Malgré la grande variabilité des caractéristiques de la côte, l'identification de certains traits récurrents est possible. En fait, la zone côtière peut être divisée en plusieurs sections selon ses caractéristiques géologiques, hydrologiques et environnementales. Selon une étude effectuée par Mujabar et Chandrasekar (2013), les formations suivantes peuvent être identifiées sur une étendue de 160 km au sud de l'état du Tamil Nadu :

- Falaises de rochers
- Caps
- Plages et dunes
- Baies
- Terrasses marines
- Cordons littoraux
- Plateformes (façonnées par les vagues)
- Vasières

Ces formations sont le résultat de l'action de processus naturels comme les vents, les vagues et le ruissellement des eaux de pluie (Harvey, 2012). L'étude des formations côtières sculptées par les forces de la nature offre une meilleure compréhension du paysage et de l'ampleur des impacts de certaines fluctuations climatiques (Kumar et autres, 2010; Mujabar et Chandrasekar, 2013). C'est-à-dire, la compréhension des processus de formation du paysage côtier permet d'établir le degré de vulnérabilité physique d'une région particulière. Par exemple, des falaises de rochers sont plus résistantes, et donc moins vulnérables aux intempéries que des vasières (Kumar et Kunte, 2012). Puisque la formation de vasières dépend des processus de sédimentation, un déséquilibre environnemental affectant le dépôt de sédiments peut facilement modifier la disposition de la côte.

Deux autres facteurs importants à considérer, qui sont étroitement liés à la géomorphologie de la côte, sont l'élévation et le gradient de la pente. L'élévation moyenne dans les environs de Chennai, la capitale du Tamil Nadu, est de 6,7 m et son plus haut point atteint les 60 m (Kumar et Kunte, 2012). De plus, le gradient de la pente est faible et varie d'un à six degrés (Mujabar et Chandrasekar, 2013). En fait, la majorité de la côte est, jusqu'au nord de l'état d'Odisha, est près du niveau de la mer. Par exemple, dans l'état d'Odisha, 389 des 480 km de côte ont une élévation de moins de 6 m (Kumar et autres, 2010). Ces longues sections de côte peu élevées avec une pente faible augmentent significativement la portée des ondes de tempêtes, l'intensité des inondations et la probabilité d'occurrence d'un désastre naturel (Mahendra et autres, 2011). Le niveau de risque est particulièrement élevé aux endroits où la densité humaine augmente (Kumar et autres, 2010). En fait, la combinaison des caractéristiques physiques et du contexte socioculturel forme la base du niveau de risque. Le tableau suivant résume les vulnérabilités physiques mentionnées dans cette section de manière à les expliciter.

Tableau 2.1. Sommaire des vulnérabilités physiques de la côte est de l'Inde.

Facteur de vulnérabilité	Composante spécifique	Description	Données/Statistiques
1) Proximité de l'aléa	Formations géomorphologiques de la côte	Une formation plus aisément modifiée par la perturbation des processus naturels rend la zone plus vulnérable.	<ul style="list-style-type: none"> Huit formations distinctes identifiées au sud du Tamil Nadu (segment de la côte représentatif) Hautement variable
	Élévation	La faible élévation augmente la portée des ondes de tempêtes et augmente le risque d'inondation.	<ul style="list-style-type: none"> Moins de 6 m sur la majorité de la côte (moyenne)
	Gradient de la pente	Le gradient de la pente (étroitement lié à l'élévation) influence la portée des ondes de tempêtes et l'étendue des inondations.	<ul style="list-style-type: none"> Varie d'un à six degrés

2.2. Contexte socioculturel

Les liens entre les caractéristiques physiques, les conditions sociales et l'environnement doivent être bien établis pour comprendre les différences régionales de vulnérabilité aux désastres naturels (Mujabar et Chandrasekar, 2013). Les différences démographiques, culturelles, linguistiques ou religieuses au sein d'une même population peuvent affecter la nature et l'efficacité des mécanismes de gestion mis en place (Mallick et autres, 2011). La compréhension de ces composantes socioculturelles permet d'évaluer leur rôle dans la vulnérabilité et d'adapter le processus de gestion des risques.

La diversité culturelle est un trait important de la vie en Inde. Les traditions hindoues dominent à travers le pays, mais ont également été intégrées ou remplacées par l'Islam, le christianisme ou le sikhisme. D'ailleurs, ces divisions religieuses ont mené à la séparation du Pakistan, en 1947, et du Bangladesh, en 1971 (Brenkert et Malone, 2005). Actuellement, la population de l'Inde compte environ 80,5 % d'hindou, 13,4 % de musulmans, 2,3 % de chrétiens et 1,9 % de sikhs (*Central Intelligence Agency* (CIA), 2014). Malgré ces différences religieuses, l'importance des valeurs familiales demeure un facteur constant dans la culture indienne et renforce les liens de la société (Brenkert et Malone, 2005). Ces valeurs facilitent l'adaptation après un aléa et réduisent la vulnérabilité dans la mesure où elles assurent que les groupes plus à risque soient pris en charge et appuyés (Zakour et Gillespie, 2013).

Les personnes généralement responsables de gérer l'unité familiale et subvenir aux besoins essentiels font partie du groupe d'âge moyen, de 35 à 60 ans (Zakour et Gillespie, 2013). En Inde, la structure démographique est dominée par deux groupes en particulier : 40,4 % de 25 à 54 ans et 28,9 % de 0 à 14 ans (CIA, 2014). Cette structure indique que le groupe pilier, soit le groupe d'âge moyen, pourrait appuyer les groupes à risque et contribuer au rétablissement de la communauté. Le groupe âgé, 65 ans et plus, inclut seulement 5,7 % de la population, et donc ne représente pas un réel fardeau (CIA, 2014).

La capacité de gérer un désastre naturel et d'appuyer les groupes à risque dépend également du milieu dans lequel se trouve la population. En Inde, la majorité de la population se trouve dans un milieu rural (CIA, 2014). En fait, la population urbaine représente seulement 31,3 % de la population du pays (CIA, 2014). Au niveau des états, la distribution de la population est similaire

au pays. La population urbaine représente, en moyenne, 32,8 % de la population totale du Tamil Nadu, d'Andhra Pradesh et d'Odisha (Census2011, 2011a; Census2011, 2011b; Census2011, 2011c). Par contre, la population urbaine d'Odisha est considérablement plus basse et comporte seulement que 16,7 % de la population totale de l'état (Census2011, 2011c). Les communautés rurales dominent donc la population de la côte est de l'Inde et influencent fortement son degré de vulnérabilité aux désastres naturels. La capacité de gestion de ces communautés est généralement compromise par un manque d'éducation ou de sensibilisation, de ressources financières et de bâtiments capables d'encaisser les coups répétés des événements hydrométéorologiques extrêmes (Mirza, 2010; Organisation de coopération et de développement économique (OCDE), 2011; Goyal et autres, 2012).

Le système d'éducation indien est actuellement en voie d'amélioration. Le taux d'alphabétisation est de 63 % à l'échelle du pays, mais parmi les jeunes de 15 à 24 ans, ce taux atteint environ 81 % (Fonds des Nations unies pour l'enfance (UNICEF), 2012). Il est donc apparent que l'éducation est plus accessible pour la nouvelle génération et que les efforts de communication devraient éventuellement être facilités. Par contre, comme mentionné précédemment, ce groupe n'est généralement pas responsable de l'unité familiale. Les efforts de communication doivent donc être adaptés pour cibler le groupe pilier généralement moins instruit. La sensibilisation de la population à risque peut présenter un défi dans la mesure où le groupe pilier n'est pas réceptif ou capable d'assimiler les informations divulguées.

Les différences linguistiques présentent également un défi de communication. Un total de 300 langues sont parlées en Inde, dont 24 comptent au moins un million de personnes (Brenkert et Malone, 2005). Le gouvernement fédéral, quant à lui, reconnaît officiellement 22 langues, mais publie ses communiqués seulement en hindi et en anglais (*Government of India*, 2014). L'hindi est la langue officielle du pays, mais l'utilisation de l'anglais est garantie par la loi fédérale pour faciliter la communication entre les états et les différents groupes ethniques (*Government of India*, 2014). Malgré l'utilisation des deux langues, il est fort probable que certaines difficultés surviennent lors de la communication ou la sensibilisation de la population. La coordination verticale, du gouvernement central vers les autorités régionales, doit être abordée d'une manière qui permet la communication efficace des politiques et directives et facilite le partage des connaissances. La complexité de la communication entre les différentes entités gouvernementales

indiennes augmente le degré de vulnérabilité de la population. Autrement dit, la diversité linguistique de l'Inde doit donc être considérée comme un facteur contribuant à sa vulnérabilité. Le tableau suivant présente un sommaire des vulnérabilités socioculturelles mentionnées dans cette section de manière à les mettre à l'évidence.

Tableau 2.2. Sommaire des vulnérabilités socioculturelles de la côte est de l'Inde.

Facteur de vulnérabilité	Composante spécifique	Description	Données/Statistiques
2) Structure démographique	Diversité culturelle	Les cultures dominantes (contexte religieux spécifique) influencent les valeurs et priorités de la population.	<ul style="list-style-type: none"> • Hindouisme 80,5 % • Islam 13,4 % • Christianisme 2,3 % • Sikhisme 1,9 % • Autre 1,8 % (diverses minorités religieuses)
	Âge de la population	La distribution des groupes d'âge détermine la capacité d'autoassistance de la population et sa dépendance à l'intervention des autorités.	<ul style="list-style-type: none"> • 0 à 14 ans 28,9 % • 15 à 24 ans 18,1 % • 25 à 54 ans 40,4 % • 55 à 64 ans 5,8 % • 65 ans et plus 5,7 %
	Proportion de la population urbaine contre rurale	La capacité de gestion des zones urbaines est plus élevée. Les populations urbaines ont généralement accès à de meilleurs services sociaux.	32,8 % (moyenne) de la population habite les zones urbaines

Tableau 2.2. Sommaire des vulnérabilités socioculturelles de la côte est de l'Inde (suite).

Facteur de vulnérabilité	Composante spécifique	Description	Données/Statistiques
2) Structure démographique	Barrières linguistiques	Les difficultés de communication compromettent la capacité de gestion des autorités.	<ul style="list-style-type: none"> • 300 langues parlées (en Inde) • Une seule langue officielle : l'Hindi • anglais (utilisé par le gouvernement)
	Scolarisation	L'éducation et la sensibilisation sont à la base de la capacité de gestion et d'adaptation de la population.	<ul style="list-style-type: none"> • Taux d'alphabétisation de 63 % (en Inde) • S'élève à 81 % chez les 15 à 24 ans

2.3. État de l'économie locale

L'état de l'économie joue un rôle crucial dans la vulnérabilité aux désastres naturels. L'ampleur et la force de l'économie peuvent déterminer la capacité de se rétablir des impacts d'un aléa naturel et, par conséquent, l'occurrence d'un désastre naturel (Dayton-Johnson, 2006). L'économie nationale est donc importante puisqu'elle détermine la capacité du gouvernement fédéral de redistribuer les ressources financières et le degré d'appui logistique qu'il peut se permettre d'offrir. Dans le cas de l'Inde, les gouvernements étatiques sont responsables de la gestion des risques d'aléas et de l'intervention en cas de désastres naturels (*Ministry of Home Affairs* (MHA), 2005; Madan, 2006). Le gouvernement fédéral élabore le cadre de gestion et offre son appui technique, mais les mécanismes concrets de gestion demeurent la responsabilité des états et des districts (Madan, 2006).

L'Inde est reconnue comme une puissance économique mondiale avec un produit intérieur brut (PIB) atteignant 1841 milliards de \$ US en 2012 (Groupe de la Banque Mondiale (GBM), 2014a). Par contre, puisque la population du pays est de plus de 1,2 milliard de personnes, cette richesse est hautement dispersée (GBM, 2014b). En 2011, environ 42 % de la population indienne était sous seuil de pauvreté internationale, établi à 456,25 \$ US par année (OCDE, 2011). Le graphique suivant démontre la croissance du PIB de l'Inde au cours des 30 dernières années.

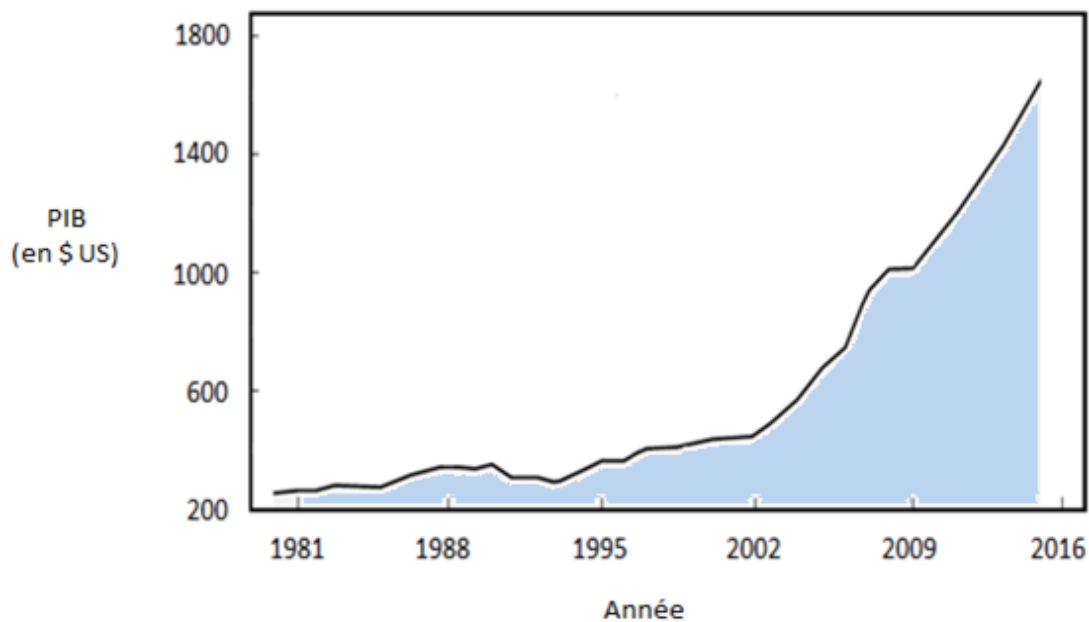


Figure 2.2. Croissance du PIB de l'Inde (inspiré de : ONUSIPC et UNDP, 2012, p.46).

Au niveau des états, la situation économique est similaire. Malgré le développement économique industriel et commercial, le revenu par personne demeure bas et les populations du Tamil Nadu, d'Andhra Pradesh et d'Odisha dépendent principalement de l'exploitation agricole et de la pêche (Benkert et Malone, 2005). En 2012, le revenu par personne atteignait 1360 \$ US, 1110 \$ US et 675 \$ US dans le Tamil Nadu, Andhra Pradesh et Odisha, respectivement (*Department of Planning Government of Punjab* (DPGP), 2012). Le revenu par personne des états du lieu d'étude est au-dessus du seuil de pauvreté et indique un potentiel de réduction de la vulnérabilité.

Par contre, il est important de prendre en compte la disparité de revenu entre les différentes classes sociales. Le développement économique des dernières années est plutôt concentré dans les zones urbaines comme Chennai, la capitale du Tamil Nadu (OCDE, 2011; Kumar et Kunte, 2012). En fait, l'inégalité des revenus a pratiquement doublé en Inde au cours des 20 dernières années (OCDE, 2011). Les populations rurales de l'Inde n'ont pas bénéficié des mêmes augmentations de revenu et l'inégalité est plus flagrante dans ces régions (OCDE, 2011). Malgré le fait que le revenu par personne soit au-dessus du seuil de pauvreté dans les états de la côte est indienne, les revenus ne sont pas distribués uniformément et les régions urbaines semblent être favorisées. Puisque la majorité de la population est rurale, les statistiques indiquent que le statut

économique de la région est plutôt précaire et contribue au maintien d'un degré de vulnérabilité élevé.

Quoique les autorités gouvernantes soient généralement chargées de la gestion des désastres naturels, les populations, tant au niveau familial qu'individuel, doivent également partager une part du fardeau. La pauvreté et la dépendance sur les programmes sociaux réduisent la capacité d'adaptation de la population (Brenkert et Malone, 2005; Mallick et autres, 2011). Dans le cas d'un aléa, la disponibilité des ressources dont dépend la population peut être réduite. Si les familles et les individus ne sont pas en mesure de s'adapter, la situation peut très bien se dégénérer en désastre. Le tableau suivant résume les vulnérabilités économiques mises de l'avant dans cette section.

Tableau 2.3. Sommaire des vulnérabilités économiques de la côte est de l'Inde.

Facteur de vulnérabilité	Composante spécifique	Description	Données/Statistiques
3a) Taux de pauvreté	Disparité de la richesse	L'accumulation de la richesse par des groupes en particulier réduit les ressources financières disponibles pour la population. La disparité peut mener à la marginalisation des groupes défavorisés.	Environ 42 % de la population sous le seuil de pauvreté international : 456,25 \$ US (en Inde) Revenu par personne : <ul style="list-style-type: none"> • Tamil Nadu 1360 \$ US • Andhra Pradesh 1110 \$ US • Odisha 675 \$ US
3b) Ressources disponibles	Croissance économique	La croissance économique indique le développement des activités économiques et un potentiel d'enrichissement pour la population.	<ul style="list-style-type: none"> • Croissance exponentielle du PIB (figure 2.2) • PIB de 1841 milliards de \$ US en 2012

Tableau 2.3. Sommaire des vulnérabilités économiques de la côte est de l'Inde (suite).

Facteur de vulnérabilité	Composante spécifique	Description	Données/Statistiques
3c) État des bâtiments et de l'infrastructure	Croissance économique + Disparité de la richesse	L'état des bâtiments et de l'infrastructure est déterminé par la capacité d'investissement du gouvernement et de la population pour le maintien et la modernisation.	Absence de données Les faibles revenus par personne et le taux de pauvreté de l'Inde suggèrent une capacité d'investissement limitée.

2.4. Gestion actuelle des désastres naturels

La première ligne de défense contre l'occurrence d'un véritable désastre naturel est la gestion des risques et la mise en place de mesures concrètes qui permettent la réduction de la vulnérabilité (Dolan et Walker, 2004; Mahendra et autres, 2011; Kumar et Walia, 2013). Puisque le niveau de risque élevé de désastres naturels est reconnu en Inde, plusieurs démarches ont déjà été entreprises dans le but d'appuyer les populations vulnérables (MHA, 2005; Madan, 2006). Le cadre de gestion des désastres naturels en Inde est clairement défini dans les publications de la Division nationale sur la gestion des désastres naturels (*National Disaster Management Division*) (MHA, 2005; Madan, 2006). Par contre, les états et les communautés à risque doivent appliquer ce cadre de gestion et contribuer aux initiatives du gouvernement fédéral.

Le cadre de gestion présenté dans la *Politique nationale sur la gestion des désastres naturels* (*National Policy on Disaster Management*), en 2009, marque la transition d'une approche d'intervention et de réhabilitation vers une approche intégrante qui priorise la prévention, la mitigation et la préparation (Inde, 2009). Les modifications apportées au système de gestion sont basées sur les recommandations issues de la Stratégie de Yokohama pour un monde plus sûr (Inde, 2009). Ces recommandations incluent, entre autres, l'application des principes du développement durable dans la gestion des désastres naturels (Inde, 2009). En accord avec la nouvelle approche, des organisations gouvernementales ont été mises sur pied pour assurer la coordination interministérielle. L'Autorité nationale de gestion de désastres (*National Disaster Management Authority*) et ses homologues étatiques sont responsables d'élaborer les plans d'action et coordonner la mise en application des plans et politiques (NDMA, s.d.).

Au cours des dernières années, plusieurs projets ont été élaborés dans le but d'appliquer la politique du gouvernement fédéral. Par exemple, un programme de formation qui cible les élus des états et des municipalités à risque a été mis en place avec la collaboration avec le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD), la Commission européenne et l'*United States Agency for International Development* (Sen, 2010). Par contre, puisque dans plusieurs cas les ressources financières manquent à l'appel, l'implémentation de certaines mesures demeure difficile (Sen, 2010). Selon Kumar et Walia (2013), malgré les changements dans l'approche du gouvernement indien et la publication de sa politique nationale, les résultats sur le terrain ne démontrent pas de réels progrès. Il est fort probable que les investissements actuels dans la gestion des désastres naturels ne soient pas suffisants et les projets prévus ne peuvent pas être mis en marche (tableau 2.3). Les nombreux obstacles, tels que les différences linguistiques, le manque de fonds publics ou l'absence d'investissements du secteur privé, limitent la capacité d'intervention des autorités gouvernantes (MHA, 2005; Kumar et Walia, 2013).

En réalité, peu d'information portant sur l'application de la politique nationale est disponible. L'absence de données sur la réalisation de projets et la mise en place de mesures de gestion concrètes peut être liée au manque de suivi par les autorités responsables. La Division nationale sur la gestion des désastres naturels et l'Autorité nationale de gestion de désastres sont responsables de la coordination et l'élaboration de plans, mais il est possible que le manque d'encadrement par le suivi permette aux autorités étatiques de délaissé leurs responsabilités. Le tableau suivant est un sommaire des vulnérabilités de gestion mentionnées dans cette section.

Tableau 2.4. Sommaire des vulnérabilités de gestion de la côte est de l'Inde.

Facteur de vulnérabilité	Composante spécifique	Description	Données/Statistiques
4a) Capacité de réponse des autorités gouvernantes	Encadrement de la gestion des risques de désastres naturels	Une politique ou des directives doivent être élaborées par un gouvernement central pour gérer les risques et impacts des désastres naturels.	<i>La Politique nationale sur la gestion des désastres naturels</i> publiée par le gouvernement fédéral indien met de l'avant la stratégie de gestion adoptée.
	Mécanismes de coordination	Les directives et politiques du gouvernement central doivent être communiqués aux gouvernements et autorités étatiques.	L'autorité nationale de gestion des désastres naturels est responsable de communiquer les directives du gouvernement fédéral.
	Élaboration de plans d'action	Les directives et politiques du gouvernement central doivent être appliquées.	Les gouvernements étatiques sont responsables l'application de la politique nationale.
4b) Mesures de prévention	Application des plans d'action	La gestion des désastres naturels se réalise en implémentant des mesures de gestion concrètes.	<ul style="list-style-type: none"> • Peu de progrès a pu être constaté dans les régions à risque. • Aucun suivi des projets entamés depuis la publication de la politique nationale.

2.5. Conséquences du degré de vulnérabilité

Les zones côtières sont sous pression constante et croissante de l'industrie, du commerce, du tourisme, la croissance de la population et la détérioration de la qualité de l'environnement qui s'en suit (Mujabar et Chandrasekar, 2013). Les conséquences de ces perturbations incluent : l'érosion, la contamination, la dégradation des dunes et l'intrusion d'eau salée dans les rivières et aquifères côtiers (Mujabar et Chandrasekar, 2013). De plus, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des aléas hydrométéorologiques associée aux changements climatiques (tableau 1.4 et 1.6) s'ajoute à l'équation et entraîne l'occurrence de désastres naturels qui limitent le développement local (tableau 1.8) (GIEC, 2007a).

La majorité des désastres naturels sont causés par une combinaison d'aléas qui surchargent l'infrastructure ou les écosystèmes et causent d'énormes dommages (Mahendra et autres, 2011). Dans le cas d'un cyclone, par exemple, les vents violents et fortes pluies influencent non seulement la portée des ondes de tempêtes, mais la surcharge des rivières (Mahendra et autres, 2011). L'effet combiné de l'eau de mer qui atteint les zones habitées et les rivières qui débordent peut mener à une inondation intense qui aboutit en désastre naturel. Les vulnérabilités mentionnées dans les sections 2.1 à 2.4 contribuent significativement aux impacts énumérés dans le tableau 1.8.

De plus, la vulnérabilité d'une région peut être fortement influencée par une autre. C'est-à-dire, dans le cas où les autorités doivent gérer une crise dans une région particulière, l'occurrence d'un aléa dans la région côtière peut diminuer leur capacité de réponse (Dolan et Walker, 2004; Brenkert et Malone, 2005). Les aléas subis par les régions continentales, à l'ouest, peuvent donc également influencer l'ampleur des impacts d'un aléa par les régions côtières des états étudiés. Par exemple, près de 490000 hectares (ha) de terres agricoles ont été perdus par l'inondation, l'intrusion d'eau salée et les changements à la composition des sols dans la région côtière d'Odisha à la suite des nombreux cyclones et inondations (Benkert et Malone, 2005). De plus, en 2001, une série d'inondations a causé des dommages d'une valeur équivalant à 2,42 milliards de \$ US et un ralentissement économique important (Benkert et Malone, 2005). En fait, malgré la mise en place de mesures budgétaires, la gestion de plusieurs aléas sur un même territoire peut épuiser les ressources financières, ce qui réduit la capacité d'adaptation et augmente significativement le niveau de risque de désastres naturels. La capacité de gestion du gouvernement, ou des autorités responsables, doit être proportionnelle au niveau de risque de tout le territoire à sa charge.

L'optimisation des ressources déjà disponible sur le terrain et la capacitation des populations locales devient donc une possibilité intéressante (Mallick et autres, 2011). Dans cette optique, l'évaluation du potentiel d'utilisation de mesures de type écologique doit être effectuée. La possibilité de conserver, de valoriser ou de restaurer les écosystèmes locaux qui protègent les populations humaines et réduisent les impacts des aléas mérite d'être évaluée en profondeur. Cette avenue répond non seulement aux exigences d'une gestion durable, mais correspond également aux objectifs de la *Politique nationale sur la gestion des désastres naturels*.

CHAPTITRE 3. INVENTAIRE ÉCOLOGIQUE

Dans le but d'établir le potentiel d'utilisation de mesures de gestion écologiques, un inventaire complet des écosystèmes côtiers doit être effectué. Ce chapitre permet donc d'identifier les différents écosystèmes côtiers du Tamil Nadu, d'Andhra Pradesh et d'Odisha pour en déceler les services écologiques qui réduisent la vulnérabilité des populations humaines à risque d'aléas naturels. Le chapitre est divisé de manière à décrire le fonctionnement des écosystèmes ayant un rôle dans la prévention, protection ou mitigation des impacts d'aléas naturels. Les services de ces écosystèmes sont soulignés de pair à leur fonctionnement pour faciliter la compréhension de leur utilisation dans un plan de gestion des risques de désastres naturels.

3.1. Services et produits des écosystèmes côtiers

Généralement, les écosystèmes contribuent à moduler les risques de désastres naturels de deux manières distinctes : en réduisant le degré d'exposition à l'aléa et en augmentant la résilience socioéconomique des populations locales (*National Institute of Disaster Management (NIDM)*, 2012; *Center for Natural Resources and Development (CNRD)* et *Partnership for Environment and Disaster Risk Reduction (PEDRR)*, 2013). Autrement dit, les écosystèmes fournissent divers services écologiques qui permettent de les considérer comme infrastructure de protection ou comme puits de ressources indispensables au maintien de la qualité de vie des populations locales (NIDM, 2012; CNRD et PEDRR, 2013). Les services écologiques sont donc les éléments clés qui déterminent le potentiel d'utilisation des écosystèmes dans le cadre de l'adaptation aux changements climatiques. La compréhension de la raison d'être et de l'impact de ces services est cruciale à l'intégration des principes du développement durable et, plus particulièrement, de la sphère écologique.

Un service écologique est tout simplement un bénéfice quelconque obtenu par l'Homme d'un écosystème (Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (ÉÉM), 2005; Barbier et autres, 2011). Ce bénéfice, direct ou indirect, est le résultat de la structure ou du fonctionnement spécifique de l'écosystème et se présente généralement sous forme de produits, services ou bénéfices culturels (Barbier et autres, 2011). En fait, un écosystème peut produire un éventail de services et produits que les populations humaines utilisent à leur avantage. Cet éventail peut être réparti en cinq catégories : la régulation, l'approvisionnement, la culture, le support et la biodiversité (Programme

des Nations unies pour l'environnement (PNUE), 2006; Gladstone, 2009). Le tableau suivant présente les divers services écologiques selon les cinq catégories et chaque écosystème côtier.

Tableau 3.1. Services écologiques offerts par les écosystèmes côtiers (compilation d'après : PNUE, 2006, p. 10; Gladstone, 2009, p. 568; Barbier et autres, 2011, p. 175, 177, 180-181, 184; CNRD et PEDRR, 2013, p. 12).

SERVICES ÉCOLOGIQUES	ÉCOSYSTÈMES									
	Marins				Transition			Terrestres		
	Récif corallien	Herbier marin	Lagune	Estuaire	Marais salé	Mangrove	Delta de rivière	Plage	Dune	Forêt tropicale
RÉGULATION										
Régulation biologique	X		X	X	X	X	X			X
Régulation du cycle hydrologique			X	X	X		X			
Stockage et rétention d'eau douce			X	X	X		X	X	X	
Purification de l'eau		X					X	X	X	X
Régulation atmosphérique et climatique	X	X	X	X	X	X				X
Maintien de la qualité de l'air						X				X
Protection contre les inondations et tempêtes	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Contrôle de l'érosion	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Contrôle de maladies humaines	X	X	X	X	X	X				
Traitement des déchets	X	X	X	X	X	X	X			
SUPPORT										
Support biochimique				X	X	X	X			X

Tableau 3.1. Services écologiques offerts par les écosystèmes côtiers (compilation d'après : PNUE, 2006, p. 10; Gladstone, 2009, p. 568; Barbier et autres, 2011, p. 175, 177, 180-181, 184; CNRD et PEDRR, 2013, p. 12) (suite).

SERVICES ÉCOLOGIQUES	ÉCOSYSTÈMES									
	Marins				Transition			Terrestres		
	Récif corallien	Herbier marin	Lagune	Estuaire	Marais salé	Mangrove	Delta de rivière	Plage	Dune	Forêt tropicale
Cycle de nutriments			X	X	X	X	X	X	X	X
Fertilité			X	X	X	X	X	X	X	X
APPROVISIONNEMENT										
Nourriture	X	X	X	X	X	X	X			X
Produits forestiers (construction, alimentation et combustion)			X	X	X	X				X
Produits pharmaceutiques	X		X	X	X	X				X
BIODIVERSITÉ										
Maintien de la biodiversité	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
CULTURE										
Activités spirituelles et religieuses			X	X	X	X				X
Activités récréatives	X		X	X	X	X		X	X	X
Esthétisme	X		X	X	X			X	X	X
Éducation et recherche	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Le tableau 3.1 indique que tous les écosystèmes côtiers contribuent au contrôle de l'érosion ainsi qu'à la protection contre les inondations et les tempêtes. Malgré ces données, il est évident que certains écosystèmes sont plus efficaces et plus performants que d'autres. En fait, dans le cas de la protection contre les inondations et les tempêtes, chaque écosystème, du récif corallien jusqu'aux dunes, forme une couche protectrice ou, en d'autres mots, une zone tampon qui diminue progressivement les ondes de tempête et la force des vagues (CNRD et PEDRR, 2013). Par contre, les services écologiques mentionnés dans le tableau 3.1 ne se limitent pas seulement à la prévention, protection ou mitigation des impacts d'un aléa naturel. En fait, la grande majorité des services contribuent significativement à augmenter la résilience des populations humaines environnantes. C'est-à-dire, ces services et produits écologiques augmentent la capacité d'une population à rétablir plus rapidement un niveau de fonctionnement acceptable en cas d'aléas naturels.

Puisqu'une même région est généralement dotée de plusieurs types d'écosystèmes, qui suivent un patron séquentiel, ceux-ci se joignent pour former un continuum de systèmes tampon (CNRD et PEDRR, 2013). Ce type d'effet combiné des écosystèmes est un facteur important à considérer dans la mesure où l'efficacité d'un écosystème en particulier dépend d'un autre. La synergie écologique peut balancer dans les deux sens. C'est-à-dire, l'état d'un écosystème en amont peut affecter positivement ou négativement l'efficacité d'un écosystème en aval. Par exemple, les récifs coralliens absorbent l'énergie et réduisent la hauteur des vagues avant que celles-ci atteignent les dunes qui dissipent l'énergie restante et agissent comme la barrière finale (NIDM, 2012; CNRD et PEDRR, 2013). Dans le cas où les récifs sont absents, les vagues frappent les dunes à leur pleine intensité et leur efficacité de protection n'est fort probablement pas suffisante pour mitiger les dégâts.

Il est également important de noter que les services écologiques mentionnés dans le tableau 3.1 sont ceux offerts par des écosystèmes à leur état optimal. L'état de l'écosystème détermine la disponibilité des habitats, le niveau de production primaire et le fonctionnement du cycle des éléments nutritifs qui forment les bases de la dynamique de l'écosystème (PNUE, 2006; PNUE, 2011a). Pour être en mesure de contribuer efficacement à la résilience, un écosystème doit être fonctionnel et permettre le maintien d'un niveau élevé de biodiversité (Gladstone, 2009).

Autrement dit, l'état de l'écosystème affecte grandement sa capacité de générer sa gamme complète de services et produits écologiques.

Par contre, les liens entre les services offerts, le fonctionnement et la structure d'un écosystème sont difficiles à établir clairement (Barbier, 2012). Il est évident qu'un lien existe, mais la complexité inhérente des écosystèmes augmente la difficulté de prédire avec précision les divers impacts des modifications aux facteurs écologiques de base. Par exemple, la variabilité de la marée causée par les ondes de tempêtes peut perturber le flux de l'eau, le transfert d'énergie et la répartition des nutriments dans un écosystème côtier (Barbier, 2012). Les impacts généraux de la perturbation peuvent être anticipés, mais, concrètement, il est difficile de confirmer le degré de perturbation des différentes composantes affectées et le sort des services écologiques. De plus, les activités humaines et les perturbations naturelles peuvent avoir des impacts cumulatifs imprévus sur les caractéristiques des écosystèmes et, par conséquent, sur les fonctions ou les caractéristiques qui contribuent aux services et produits écologiques (Talbot et Wilkinson, 2001; PNUE, 2011a).

En résumé, la production de services ou produits écologiques dépend du maintien de l'équilibre dans l'écosystème (Barbier et autres, 2011; Barbier, 2012). Plusieurs facteurs externes, comme l'urbanisation, la contamination industrielle ou même le passage d'un puissant cyclone, peuvent entrer en ligne de compte dans le maintien de l'intégrité des écosystèmes (PNUE, 2011a). Ces facteurs, d'origine humaine ou naturelle, doivent être considérés pour comprendre comment les écosystèmes doivent être utilisés dans la gestion des risques de désastres naturels. Ces facteurs sont fortement influencés par les caractéristiques physiques ainsi que le développement humain régional. Pour cette raison, il est important de se concentrer sur le contexte spécifique de la région à l'étude.

3.2. Écosystèmes de la côte est de l'Inde

La région côtière indienne est le foyer de plusieurs écosystèmes considérés parmi les plus vastes et biologiquement riches de la Terre (Marale, 2012). Les diverses rivières pérennes contribuent à la formation d'un réseau d'estuaires, de lagunes, de marais salés et de mangroves qui génèrent une panoplie de services et produits écologiques (Barbier et autres, 2011; Marale, 2012). En fait, la plupart des écosystèmes du tableau 3.1 sont représentés au long de la côte des états du Tamil

Nadu, d'Andhra Pradesh et d'Odisha. Une description ciblée permet de mettre à l'évidence le degré de prévention, protection ou mitigation des impacts d'un aléa naturel d'origine hydrométéorologique offert par chaque écosystème. Il est donc possible, par la suite, d'évaluer le potentiel d'utilisation des écosystèmes dans un plan de gestion des risques associés aux désastres naturels. Le tableau suivant présente une synthèse de la contribution des écosystèmes à la prévention, la protection et la mitigation. Les sections 3.2.1 à 3.2.5 présentent les caractéristiques principales des écosystèmes ainsi que la quantification, si possible, de leur contribution spécifique à la gestion des risques associés aux désastres naturels.

Tableau 3.2. Synthèse de la contribution des écosystèmes de côte est de l'Inde à la prévention, protection et mitigation d'aléas naturels
(compilation d'après : NIDM, 2012, p. 11; Sandilyan et Kathiresan, 2012, p. 3531; CNRD et PEDRR, 2013, p. 12).

ALÉA ÉCOSYSTÈMES	A. Cyclone tropical	B. Inondation	C. Vagues de chaleur	D. Sécheresse
Récifs coralliens (section 3.2.1)	<ul style="list-style-type: none"> • Absorption de l'énergie des vagues. • Réduction de la hauteur des vagues. • Stabilisation des côtes et protection contre l'érosion. 	-	-	-
Herbiers marins (section 3.2.2)	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisation du fond marin côtier. • Réduction de la force des vagues. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintien des plages et des dunes par la réduction du déplacement du sable. 	-	-
Mangroves et marais salés (section 3.2.3)	<ul style="list-style-type: none"> • Absorption de l'énergie des vagues. • Réduction de la hauteur des vagues. • Stabilisation des côtes et protection contre l'érosion. • Réduction de la durée et la hauteur des ondes de tempêtes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la capacité de rétention d'eau. • Réduction de la durée et la hauteur des ondes de tempêtes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Redistribution de l'énergie thermique. • Maintien d'un microclimat. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maintien de la quantité et de la qualité des sources d'eau douce.

Tableau 3.2. Synthèse de la contribution des écosystèmes de côte est de l'Inde à la prévention, protection et mitigation d'aléas naturels
(compilation d'après : NIDM, 2012, p. 11; Sandilyan et Kathiresan, 2012, p. 3531; CNRD et PEDRR, 2013, p. 12) (suite).

ALÉA ÉCOSYSTÈMES	A. Cyclone tropical	B. Inondation	C. Vagues de chaleur	D. Sécheresse
Dunes (section 3.2.4)	<ul style="list-style-type: none"> • Atténuation des vagues. 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la portée des ondes de tempêtes. 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Recharge des nappes phréatiques.
Estuaires, lagunes et deltas de rivières (section 3.2.5)	<ul style="list-style-type: none"> • Absorption de l'énergie des vagues. • Réduction de la hauteur des vagues. • Stabilisation des côtes et protection contre l'érosion. 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la hauteur et de la vitesse des ondes de tempêtes. • Rétention des surplus d'eau. 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Maintien de la quantité et de la qualité des sources d'eau douce.

3.2.1. Récifs coralliens

Les récifs coralliens sont le résultat de siècles et de millénaires de dépôt de carbonate de calcium (CaCO_3) produit par les coraux de l'ordre *Scléractinia* (Miththapala, 2008a). Ce type de corail est caractérisé par la formation d'une coquille protectrice, fabriquée à base de CaCO_3 , autour de chaque polype de la colonie. La structure d'un récif est donc essentiellement un assemblage de colonies de polypes scléractinaires qui déposent couche après couche de CaCO_3 . En combinaison avec l'action des vagues, de la marée et des organismes marins, les dépôts de CaCO_3 sont continuellement façonnés et compactés pour former d'énormes structures complexes (Miththapala, 2008a).

En raison d'une relation symbiotique avec des algues photosynthétiques, les zooxanthelles, les coraux scléractinaires dépendent de conditions physiques précises pour garantir leur développement :

- une fourchette de température
 - accès à la lumière du soleil, et spécifique,
 - un faible apport en sédiments et
 - une fourchette de salinité restreinte
- nutriments (faible turbidité), (Fabricius, 2005; Miththapala, 2008a; Kannapiran et autres, 2008).

Dans le cas où les conditions sont favorables, le processus de formation de récifs se présente sous trois formes distinctes : les récifs frangeants, les récifs-barrières et les atolls (Miththapala, 2008a). La figure suivante présente ces différents types de formations récifales.

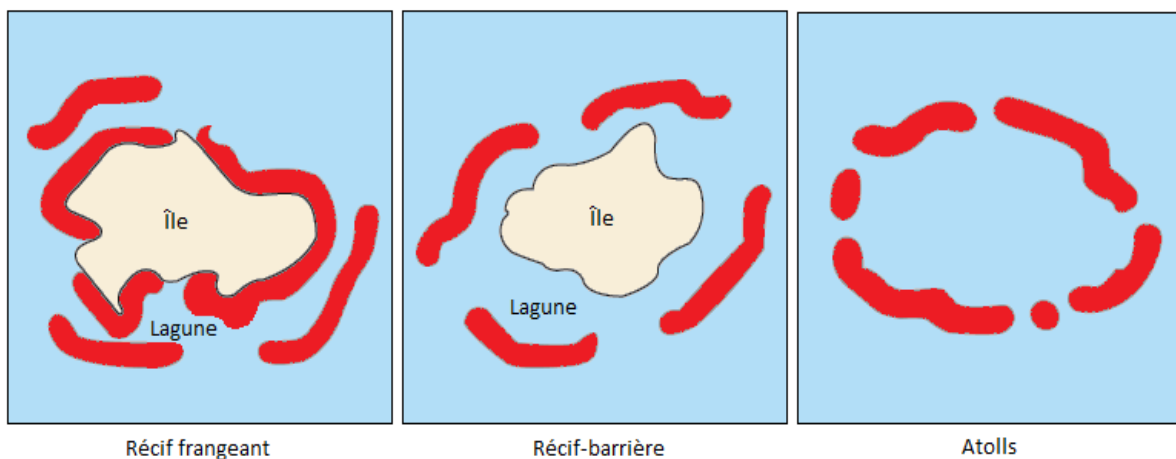


Figure 3.1. Types de formations récifales (inspiré de : Miththapala, 2008a, p. 5-6).

Les récifs frangeants se forment généralement près la côte dans les zones peu profondes. Par contre, dans certains cas, ces récifs peuvent également être séparés de la côte par une lagune étroite (Miththapala, 2008a). Les récifs-barrières, quant à eux, sont plus éloignés de la côte, de 10 à 100 km, où ils se développent dans des zones plus profondes. Généralement, ces récifs se forment sur le dos d'anciens récifs qui se sont établis au cours de la dernière période glaciaire lorsque le niveau de la mer était plus bas (Miththapala, 2008a). Les atolls sont similaires aux récifs frangeants dans la mesure où ils se développent au long de la côte. La différence clé est que la côte appartient généralement à une île, ou une formation volcanique, qui s'inonde ou glisse sous le niveau de la mer (Miththapala, 2008a). Lorsque la mer submerge l'île complètement, le récif demeure et entraîne la formation d'une lagune.

Rôle dans la prévention, protection et mitigation

Les récifs coralliens sont la première ligne de défense contre les intempéries d'origine maritime. Dans le continuum de systèmes tampon, les récifs coralliens forment la première couche qui contribue à la protection contre les tempêtes tels que les cyclones tropicaux (CNRD et PEDRR, 2013). Chacune des formations récifales mentionnées dans la section précédente contribue à la protection de la côte. Les structures complexes de CaCO_3 absorbent une partie de l'énergie des vagues, réduisent leur hauteur et préviennent l'érosion de la côte par les vagues et l'action naturelle de la marée (CNRD et PEDRR, 2013). Plus spécifiquement, selon son ampleur et la complexité de sa structure, une formation récifale peut dissiper de 77 à 90 % de l'énergie des

vagues (*United Nations Environment Programme-World Conservation Monitoring Center (UNEP-WCMC)*, 2006; *UN Atlas of the Oceans*, 2010b). En fait, le récif agit comme un énorme mur submergé qui force les vagues à se rompre et dégager une part importante de leur énergie avant de se jeter sur le rivage.

Contribution à la résilience

À l'échelle planétaire, les récifs coralliens couvrent moins d'un pour cent du fond marin, mais supportent, directement ou indirectement, jusqu'à 90 % des organismes marins (Karuppanapandian et autres, 2007; Thangaradjou et Astalakshmi, 2010). L'architecture complexe des récifs coralliens ainsi que la haute productivité de l'écosystème permet de soutenir le développement de plusieurs organismes marins. En fait, près de 25 % des espèces de poissons marins connues dépendent directement des récifs coralliens comme habitat, site de reproduction et source de nourriture (Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), 2013). Plusieurs de ces espèces sont d'importance majeure pour l'économie des populations côtières qui exploitent les récifs (Thanikachalam et Ramachandran, 2003). Dans certains cas, un kilomètre carré (km²) de récif peut produire annuellement jusqu'à 15 tonnes de poissons et autres fruits de mer pour la consommation humaine (Miththapala, 2008a).

De plus, l'utilisation de récifs comme attraction touristique peut compléter les revenus des populations locales et permettre des investissements dans l'éducation, la recherche et l'infrastructure (UNEP-WCMC, 2006). Cette source d'alimentation et les revenus supplémentaires peuvent augmenter la capacité d'adaptation des populations locales en cas du passage d'un aléa naturel.

Distribution sur la côte est de l'Inde

Sur la côte est indienne, les récifs coralliens se trouvent dans une seule région au sud de l'état du Tamil Nadu : le golfe de Mannar et la baie de Palk (Hoon, 1997; Thanikachalam et Ramachandran, 2003). Plus spécifiquement, la Réserve marine du golfe de Mannar, sous la protection du gouvernement depuis 1986, est composée de 21 îles entourées de récifs coralliens frangeants, d'herbiers marins et de mangroves (Thanikachalam et Ramachandran, 2003; Greenpeace India,

2004). La figure suivante identifie la région de la côte est où se trouvent les récifs coralliens et leur distribution approximative autour des îles du golfe de Mannar.

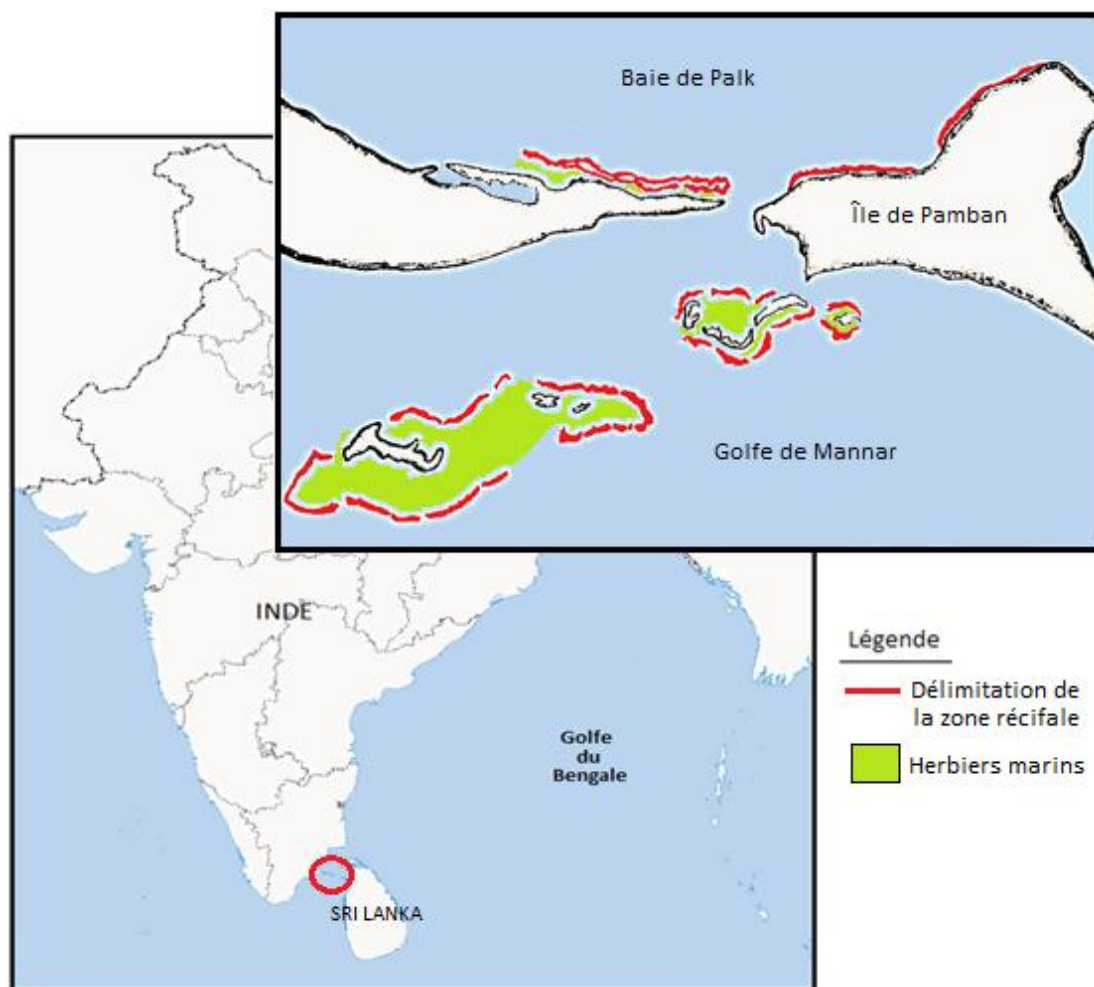


Figure 3.2. Délimitation de la zone récifale et des herbiers marins de la côte est indienne (compilation d'après : Ramesh et Kannupandi, 1997; Thanikachalam et Ramachandran, 2003, p.160).

Malgré l'importance des récifs pour cette région, leur utilisation pour la gestion des risques de désastres naturels est très limitée à l'échelle de la côte est indienne. La quantité d'eau douce et de sédiments déversés dans la mer par les rivières au long de la côte du golfe du Bengale restreignent la distribution des récifs coralliens (Hoon, 1997). De plus, malgré les nombreux efforts de conservation, les récifs du golfe de Mannar et de la baie de Palk sont dégradés par la surpêche

mécanisée, la contamination en provenance des villes côtières et l'extraction de corail pour la production de suppléments alimentaires et de cosmétiques (*Greenpeace India*, 2004). Considérant les conditions physiques de la côte indienne du golfe du Bengale, des projets de transfert ou de construction de récifs seraient sans aucun doute réalisés en vain.

3.2.2. Herbiers marins

Un herbier marin est essentiellement une prairie de plantes submergées dans les eaux côtières. Environ 60 espèces différentes de ces plantes à fleurs, *Magnoliophyta*, sont répandues au long des côtes de chacun des continents, à l'exception de l'Antarctique (Miththapala, 2008b). En fait, les herbes marines sont les seules plantes à fleurs adaptées à être complètement submergées dans un environnement salé (Miththapala, 2008b). Pour cette raison, ces plantes ont développé certains traits spécialisés :

- un réseau de racines bien étendu,
- des tiges et des feuilles flexibles,
- un taux de photosynthèse élevé,
- la reproduction asexuelle,
- la pollinisation sous-marine,
- la tolérance au sel, et
- des tissus spécialisés pour stocker de l'oxygène (O₂) (Miththapala, 2008b; Björk et autres, 2008).

Généralement, dans les régions tropicales, les herbiers marins se trouvent à proximité des récifs coralliens et des mangroves (Miththapala, 2008b). Ces plantes sont limitées aux zones où l'action des vagues est réduite et le niveau d'eau est maintenu lors de la marée basse (Miththapala, 2008b). De plus, les conditions physiques requises pour leur développement sont semblables à celles des récifs, comme l'accès à la lumière pour la photosynthèse et une fourchette de température spécifique (Björk et autres, 2008).

Rôle dans la prévention, protection et mitigation

Les racines des herbes marines maintiennent la stabilité du fond marin et servent de protection contre l'érosion de la côte (Talbot et Wilkinson, 2001; Björk et autres, 2008; Miththapala, 2008b). Les herbes contribuent ainsi au maintien des plages, et des dunes qui s'y forment, en diminuant le déplacement du sable par l'action des vagues et de la marée (Miththapala, 2008b). Le maintien

des dunes est un facteur crucial dans la prévention d'inondations par les ondes de tempêtes. De cette manière, les herbiers marins contribuent indirectement à la prévention des inondations.

De plus, la résistance causée par les tiges et les feuilles des plantes diminue la force des vagues qui atteignent la côte (Miththapala, 2008b). Par contre, les herbes marines perdent leur efficacité en fonction de la profondeur (Barbier et autres, 2011). C'est-à-dire, lorsque des herbes marines de petite taille colonisent des zones plus profondes, leur impact sur les vagues est presque nul. Leur capacité à réduire la force des vagues est plutôt limitée, mais en combinaison avec les récifs coralliens, les herbiers marins peuvent occuper un rôle important dans la protection de la côte.

Contribution à la résilience

Les herbiers marins sont des habitats importants dans le cycle de vie de plusieurs organismes marins et, particulièrement, pour leur phase juvénile. Les juvéniles de plusieurs espèces de poissons utilisent la protection de la canopée formée par les herbes pour se réfugier et éviter les prédateurs. De plus, le taux de croissance élevé des feuilles de ces plantes forme la base d'une chaîne alimentaire importante pour le maintien des écosystèmes côtiers (Govindasamy et Arulpriya, 2011). Plusieurs espèces d'herbivores, comme les dugongs (*Dugong dugon*) et les tortues marines (*Chelonioidea*), dépendent des herbiers pour leur principale source d'alimentation (Björk et autres, 2008).

D'autre part, puisque les herbiers marins absorbent et retiennent une grande partie des nutriments et sédiments en provenance du continent, ils contribuent indirectement au maintien de la qualité de l'eau et de l'intégrité des récifs coralliens (Björk et autres, 2008; Barbier et autres, 2011). Les herbiers marins sont donc directement responsables du maintien de la clarté de l'eau en diminuant les courants et permettant le dépôt des sédiments en suspension (Barbier et autres, 2011). En réalité, les herbiers marins contribuent à la résilience des populations locales en maintenant la résilience de l'ensemble des écosystèmes côtiers (Short et autres, 2007).

Distribution sur la côte est de l'Inde

La distribution des herbiers marins est étroitement liée à celle des récifs coralliens. En fait, tout comme les récifs, les uniques étendues d'herbiers marins sur la côte est de l'Inde se trouvent dans le golfe de Mannar et la baie de Palk (Thanikachalam et Ramachandran, 2003; *Seagrass Watch*,

2013). La figure 3.2 identifie approximativement les zones où les herbiers marins se trouvent, par contre, des herbiers peuvent également se trouver dans des estuaires ou lagunes où les conditions le permettent (Kallesøe et autres, 2008; Barbier et autres, 2011). Les herbiers marins sont importants dans le maintien de la biodiversité et la protection de la côte, mais leur utilisation est peu probable dans le cas de la côte est indienne.

3.2.3. Mangroves et marais salés

Un marais salé est un écosystème de transition entre la terre et l'océan situé dans une zone inondée temporairement lors de la marée haute. Les plantes qui s'y trouvent, soit des herbes, des arbustes ou des arbres, sont adaptées au niveau de salinité élevée entraînée périodiquement par l'eau de mer (NOAA, 2008). Les mangroves sont un type de marais salé caractérisé principalement par de grandes étendues de palétuviers entre l'embouchure d'une rivière et d'un estuaire, ou directement sur la côte face à l'océan (Sandilyan et Kathiresan, 2012). À l'échelle planétaire, les mangroves sont composées d'une variété de 73 espèces d'arbres et d'arbustes et couvrent l'équivalent de 0,4 % de la superficie des forêts (Sandilyan et Kathiresan, 2012).

Les mangroves sont les seuls écosystèmes où des arbres ont développé les adaptations nécessaires à la variation quotidienne du niveau de l'eau, de la salinité et de l'O₂ (Miththapala, 2008c). Ces adaptations incluent :

- des racines en pilotis,
- des feuilles spécialisées, et
- des pneumatophores (racines aériennes spécialisées),
- la formation de propagules (Miththapala, 2008c).

Les mangroves sont caractérisées par un zonage séquentiel spécifique des espèces selon la distance de la mer et les conditions physiques de l'environnement. Ce zonage est variable selon les espèces présentes et leur capacité de s'adapter à la hauteur de la marée, l'élévation, la salinité et la compétition avec les autres espèces (Miththapala, 2008c). La compétition est un facteur important dans la mesure où certaines étendues de mangroves ont un niveau élevé de biodiversité et une grande variété d'espèces adaptées aux mêmes conditions.

Rôle dans la prévention, protection et mitigation

Par la stabilisation des sédiments et les obstacles créés par les nombreux arbres et arbustes, les mangroves et marais salés réduisent les impacts des vagues en diminuant leur vitesse, leur hauteur et leur durée (Barbier et autres, 2011). Les mangroves en bon état sont capables d'absorber au moins 70 à 90 % de l'énergie des vagues lors de tempêtes ou cyclones tropicaux (UNEP-WCMC, 2006; NIDM, 2012). En fait, une ceinture de protection de 1,5 km de mangroves peut réduire entièrement une vague de 1 m de hauteur (UNEP-WCMC, 2006). Les mangroves en bon état sont capables d'absorber jusqu'à 80 % de l'énergie des vagues lors de tempêtes ou cyclones tropicaux (NIDM, 2012). Par exemple, en 1999, lors du passage du cyclone 05B, ou le cyclone d'Odisha, la protection offerte par les mangroves a significativement réduit le taux de mortalité des populations locales (Barbier et autres, 2011; NIDM, 2012). Les marais sont également liés à la réduction de la durée et la hauteur des ondes de tempêtes en permettant la rétention d'une plus grande capacité d'eau que les zones sans végétation (Barbier et autres, 2011).

Les mangroves limitent également l'intrusion de l'eau salée dans les systèmes aquatiques. Ce service permet le maintien des sources d'eau douce pour les populations côtières lors du passage d'une tempête (NIDM, 2012). Considérant leur capacité de rétention d'eau, de filtration de contaminants et le fait que les marais salés limitent l'intrusion de l'eau de mer, il est possible d'affirmer que les mangroves et marais salés peuvent limiter les impacts d'une période de sécheresse. Dans la mesure où les sources d'eau douce sont maintenues par les services de régulation des mangroves et marais salés, les populations locales sont moins fortement affectées par la sécheresse. Les mangroves peuvent également créer un microclimat en redistribuant l'énergie thermique aux régions environnantes (Sandilyan et Kathiresan, 2012). De cette manière, la présence d'une grande étendue de mangroves en bon état peut réduire les impacts d'une vague de chaleur.

Contribution à la résilience

Tout comme les récifs coralliens et les herbiers marins, les mangroves sont cruciales au cycle de vie de plusieurs organismes marins. Les juvéniles peuvent continuer leur développement sous la protection des nombreuses racines submergées des palétuviers où les prédateurs ne peuvent pas les rejoindre (Miththapala, 2008c). En ce qui concerne les pêcheries, les cours d'eau qui sillonnent

les étendues de mangroves peuvent permettre un taux de capture de 1,3 à 8,8 kilogrammes à l'heure (Talbot et Wilkinson, 2001). En plus d'une source de nourriture importante, les mangroves sont une source de matériaux de construction, de bois de chauffage et d'une variété de produits domestiques (Miththapala, 2008c).

De plus, de la même manière que les herbiers marins, les mangroves et marais salés contribuent au maintien de la qualité de l'eau. C'est-à-dire, l'eau qui s'écoule des rivières jusque dans un estuaire est ralentie et filtrée par la végétation des marais (Barbier et autres, 2011). La rétention de sédiments et la stabilisation du sol par les racines des palétuviers, et autres plantes des marais salés, contribuent également à la protection contre l'érosion de la côte (NIDM, 2012). Les mangroves sont donc un élément clé du fonctionnement optimal du système côtier en général.

Distribution sur la côte est de l'Inde

Les mangroves sont distribuées tout au long de la côte est indienne, mais les régions les plus importantes sont : le delta de Cauvery, Krishna Godavari et Mahadani (Kumar, 2000). La figure suivante situe approximativement ces trois régions et les mangroves qui s'y trouvent.

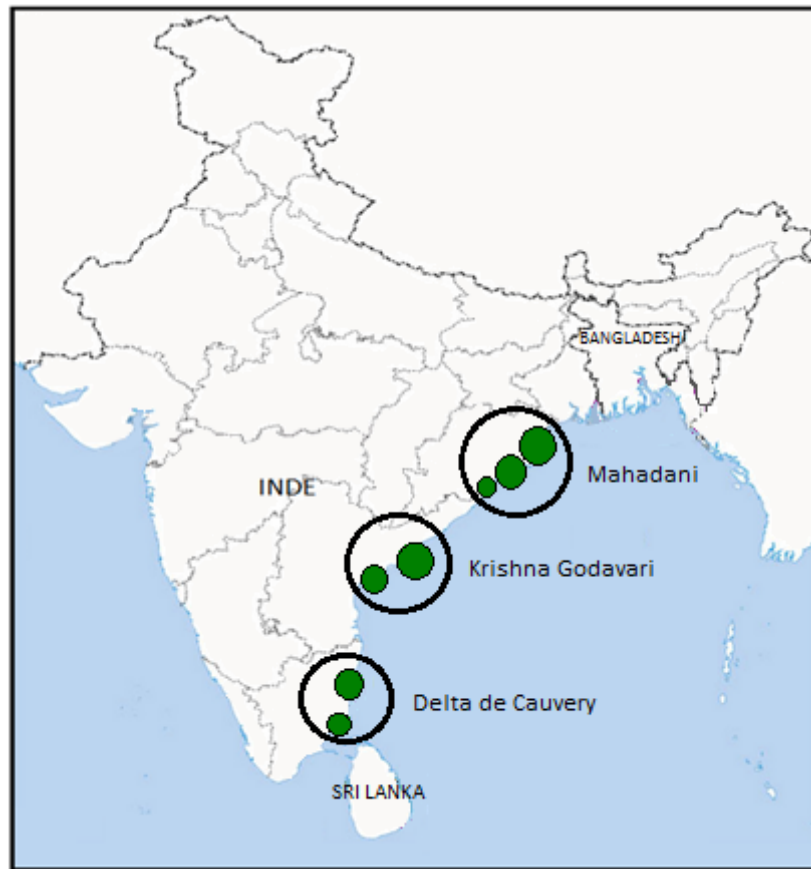


Figure 3.3. Carte de la distribution des mangroves de la côte est indienne (compilation d'après : Kumar, 2000; Singh et autres, 2012, p. 60).

Malgré ces trois régions principales, plusieurs autres étendues de mangroves peuvent être observées sur la côte. Par contre, ces régions abritent les plus grandes étendues de mangroves de la côte est. Par exemple, dans la région du Mahadani, située dans l'état d'Odisha, se trouve le deuxième plus vaste écosystème de mangrove du subcontinent indien : les mangroves de Bhitarkanika (Bahinipati et Sahu, 2012).

En Inde, au cours du dernier siècle, la superficie occupée par les mangroves a diminué de 40 % (Kathiresan, 2000). Par exemple, 90 % de la superficie des mangroves de Pichavaram, dans l'état du Tamil Nadu, a été dégradée ou perdue au cours des 30 dernières années (Kathiresan, 2000). Malgré la dégradation et la perte de milliers d'hectares de mangroves, certaines zones sont toujours intactes et peuvent être utilisées comme mesure de protection contre les tempêtes.

En fait, comme le démontre la figure suivante, la côte est indienne se trouve dans une des régions avec la richesse spécifique de palétuviers la plus élevée de la planète. Plus spécifiquement, un total de 60 espèces ont été identifiées dans les mangroves de côte est et des îles du golfe du Bengale (Nayak et Bahuguna, 2008; Singh et autres, 2012).

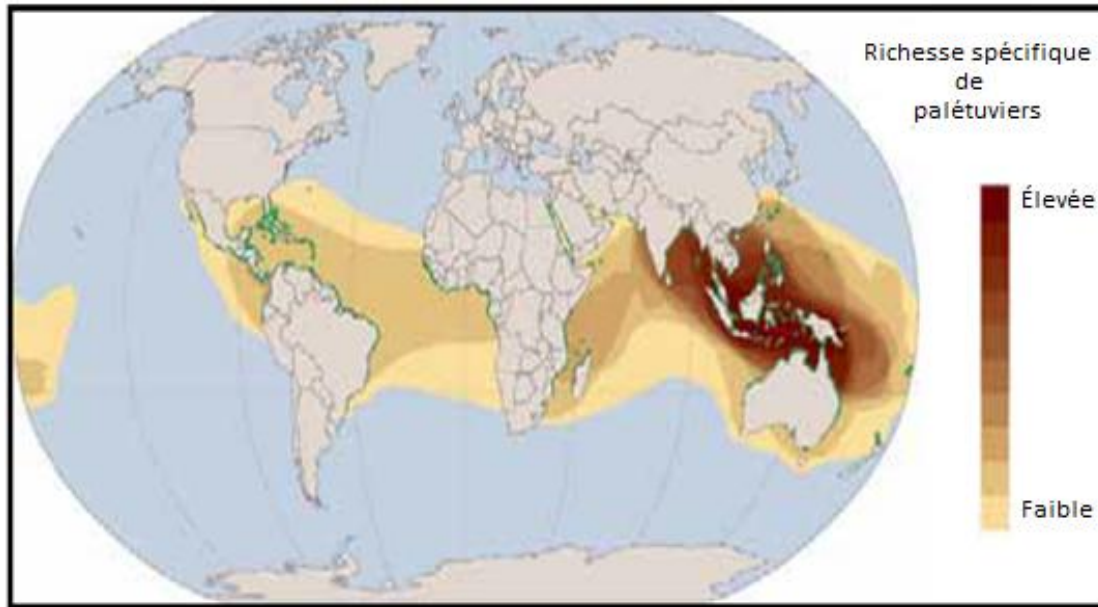


Figure 3.4. Richesse spécifique de palétuviers à l'échelle planétaire (traduction libre de : Groombridge et Jenkins, 2002, p. 136-137).

3.2.4. Dunes

Les dunes sont des accumulations de sable modelées par le vent et l'action des vagues (Miththapala, 2008b). Les vagues déposent le sable sur les plages où le vent le repousse progressivement vers la terre. Lors de la marée basse, le sable déposé par les vagues sèche et le vent peut alors le déplacer (Miththapala, 2008b). Éventuellement, le sable rejoint la première couche de végétation de la terre où les plantes et leurs racines restreignent son déplacement (Miththapala, 2008b). Le sable s'accumule donc à cet endroit et forme une dune. La force du vent et des vagues repousse continuellement le sable de la plage vers la dune et modifie sa forme, sa hauteur et son épaisseur. La formation de dunes est un processus dynamique (Miththapala, 2008b). C'est à dire, les dunes sont constamment modelées par les conditions environnementales (Devi et autres, 2013).

Les dunes ne sont pas uniquement des accumulations de sable. Une variété de plantes colonise ces formations et contribue à la création d'un écosystème d'importance majeure pour la région côtière. Cette végétation est cruciale en raison de leurs fonctions de bioingénierie comme l'accumulation de sédiments, la liaison du sable et les processus de formation terrestre (Rodrigues et autres, 2011). Le processus de colonisation de la végétation est amorcé par les plantes qui résistent la lumière directe du soleil, la salinité, les vents, l'enfouissement et une faible concentration de nutriments dans le sol (Doody, 2013). Par la suite, l'accumulation de matière organique, par la décomposition de ces plantes colonisatrices, permet le développement d'une variété d'herbacées, de certains arbustes et, éventuellement, quelques espèces d'arbres (Rodrigues et autres, 2011; Doody, 2013). Par contre, le processus d'enrichissement et la formation d'une couche d'humus sont lents. De plus, une fréquence élevée de tempêtes et autres intempéries intenses peut limiter le démarrage du cycle de colonisation des dunes.

Rôle dans la prévention, protection et mitigation

Les dunes forment un mur de sable qui bloque les vagues et les ondes de tempêtes. Par contre, leur capacité d'atténuation des vagues est directement liée à leur morphologie, soit leur forme, leur hauteur et leur épaisseur (Barbier et autres, 2011). Les dunes offrent également des services de régulation en filtrant l'eau de pluie et en rechargeant les nappes phréatiques (Poyyamoli et autres, 2012). La purification et le stockage d'eau douce sont des services importants en cas de sécheresse. L'eau rendue disponible par les dunes peut faire toute la différence lors de période de sécheresse et les réserves d'eaux superficielles épuisées (Barbier et autres, 2011).

Contribution à la résilience

Les dunes peuvent abriter un niveau élevé de biodiversité. En fait, dans le cas des dunes de la côte est de l'Inde, un total de 163 espèces de plantes ont pu être identifiées lors d'une étude par Rodrigues et autres (2011). De plus, les tortues marines dépendent des plages et des dunes comme site de reproduction et l'incubation de leurs œufs (Miththapala, 2008b; Poyyamoli et autres, 2012). Le maintien de ces espèces est essentiel au maintien de la biodiversité de la zone côtière en général. De plus, la capacité de purification et de stockage d'eau douce n'est pas seulement utile lors de périodes de sécheresse. Les populations côtières peuvent profiter en tout

temps de ces services écologiques des dunes en consommant et en utilisant l'eau de la nappe phréatique (Barbier et autres, 2011).

Distribution sur la côte est de l'Inde

La distribution des dunes est hautement variable et dépend de la géomorphologie de la côte. C'est-à-dire, les dunes peuvent s'étendre sur plusieurs kilomètres où se limiter à des bandes de moins de 1 m en fonction des formations géomorphologiques de la côte (Miththapala, 2008b). De plus, les dunes de l'Inde font rarement l'objet d'études approfondies et le niveau de connaissances spécifiques à cette région est insuffisant (Poyyamoli et autres, 2012). Pour cette raison, il peut être difficile de cerner la distribution exacte des dunes. Généralement, les dunes se trouvent presque partout où se trouvent des plages, par contre, plusieurs sections de la côte est de l'Inde sont caractérisées par des estuaires, des lagunes et des deltas de rivière où les dunes peuvent difficilement se former (Rodrigues et autres, 2011).

La dégradation des dunes, causée par l'extraction de sable pour l'utilisation dans la construction ou l'élimination des dunes pour le développement de routes et complexes touristiques, réduit leur potentiel d'utilisation pour la gestion des risques de désastres naturels (Poyyamoli et autres, 2012). Le tsunami, en 2004, a également eu un impact important sur les dunes de la côte est. En fait, le passage du tsunami a causé la rupture, l'érosion et l'aplanissement de plusieurs kilomètres de dunes dans le sud de la côte (Mascarenhas et Jayakumar, 2008). La restauration des dunes, où celles-ci sont dégradées et ont tendance à se former naturellement, peut être une voie intéressante dans la gestion des risques de désastres naturels.

3.2.5. Estuaires, lagunes et deltas de rivière

Un estuaire, tout comme une lagune, est un corps d'eau saumâtre partiellement clos qui se trouve dans la zone côtière. En fait, une lagune est un type d'estuaire caractérisé par un cordon littoral, soit une plage ou une île, qui sépare le corps d'eau saumâtre de la mer (Kallesøe et autres, 2008). Quant aux deltas de rivière, ceux-ci sont des regroupements de formations terrestres à l'embouchure d'une rivière qui se draine dans un lac, un estuaire ou l'océan (Rao et autres, 2010). La formation de deltas est rendue possible par le dépôt de sédiments lorsque le débit d'eau ralentit où la rivière rejoint un estuaire (*National Institute of Oceanography* (NIO), 2009). La

formation d'un delta dépend également du taux d'érosion (Charlton, 2008). C'est-à-dire, le transport de sédiments des rivières doit être plus rapide que le taux d'érosion de la côte pour stabiliser le processus de formation d'un delta. Ces trois écosystèmes sont donc étroitement liés et peuvent être considérés comme les composantes d'un même système de transition entre les milieux aquatique et marin.

Les estuaires, les lagunes et les deltas de rivières sont particulièrement productifs et abritent une variété d'écosystèmes distincts. Par exemple, les mangroves et d'autres types de marais salés ont tendance à se former autour d'un estuaire et les herbiers marins peuvent se trouver dans certaines lagunes (Kallesøe et autres, 2008; Singh et autres, 2012). Selon Barbier et autres (2011), les écosystèmes côtiers sont en fait considérés des écosystèmes estuariens et côtiers. Le système de transition créé par les estuaires, les lagunes et les deltas de rivières maintient les conditions nécessaires à la formation de plusieurs différents écosystèmes et, par conséquent, la conservation d'un niveau élevé de biodiversité.

Rôle dans la prévention, protection et mitigation

Les estuaires, les lagunes et les deltas de rivière peuvent réduire la hauteur et la vitesse des ondes de tempête et de raz-de-marée (CNRD et PEDRR, 2013). Les divers obstacles, comme la végétation, les îlots et les cordons littoraux, dissipent la force des ondes de tempêtes et réduisent leurs impacts sur le système côtier et les populations locales. De plus, cette zone de transition ainsi que les différents écosystèmes qu'elle supporte ont une grande capacité de rétention d'eau (NOAA, 2012). De cette manière, les divers écosystèmes agissent comme une énorme éponge qui absorbe le surplus d'eau et réduisent les impacts d'une inondation, causés par les pluies ou par les tempêtes.

Contribution à la résilience

Les estuaires sont parmi les écosystèmes les plus productifs de la planète (NIO, 2009; NOAA, 2012). Les nutriments transportés par les rivières permettent l'augmentation de la productivité des écosystèmes et, par conséquent, le niveau d'exploitation des services et produits écologiques par les populations côtières (NOAA, 2012). Par exemple, près de 200000 personnes dans 141

communautés dépendent du lac Chilika, au sud du delta de la rivière Mahadani, pour subvenir à leurs besoins essentiels (Dujovny, 2009).

Plus spécifiquement, les services écologiques offerts par les estuaires, les lagunes et les deltas de rivière qui permettent la conservation d'un niveau élevé de biodiversité sont : le maintien des habitats et la purification de l'eau (NOAA, 2012). Les divers écosystèmes associés aux estuaires, aux lagunes et aux deltas de rivière, comme les mangroves et les marais salés, agissent comme d'énormes filtres (NOAA, 2012). Ces écosystèmes abritent également une grande diversité de faune et de flore cruciale au maintien de la biodiversité et la productivité du système côtier en général.

Distribution sur la côte est de l'Inde

La distribution des estuaires, des lagunes et des deltas est directement liée à l'écoulement des rivières, la structure des bassins versants et la géomorphologie de la côte (Charlton, 2008). Plusieurs rivières et fleuves se jettent à la mer du côté est du subcontinent indien. En fait, les grandes rivières Mahadani, Godavari et Cauvery se déversent dans le golfe du Bengale (NIO, 2009). De plus, les estuaires, lagunes et deltas de rivière de la côte est sont parmi les plus vastes de l'Inde et de l'Asie (NIO, 2009). La figure suivante identifie les trois deltas de rivière les plus importants de la côte est indienne.



Figure 3.5. Carte des principaux deltas de rivière de la côte est indienne (inspiré de : NIO, 2009, p.21).

En plus des deltas de rivières et des estuaires où ils se trouvent, la deuxième plus grande lagune côtière du monde se trouve sur la côte est indienne, au sud du delta de la rivière Mahanadi (Dujovny, 2009). Le lac Chilika couvre une superficie de 1000 km² et fait partie des six milieux humides de l'Inde sous la convention de Ramsar (Kadekodi et Nayampalli, 2003).

Les estuaires, lagunes et deltas de rivières peuvent contribuer à la résilience des populations locales et réduire les risques de désastres naturels, suite au passage d'un aléa, mais leur efficacité est réduite par les activités humaines. Comme la majorité des écosystèmes côtiers de l'Inde, la croissance démographique et l'intensification des activités industrielles, touristiques et agricoles provoquent la dégradation progressive des conditions environnementales et la perte de biodiversité (Marale, 2012).

CHAPTITRE 4. MESURES DE GESTION

Pour pleinement bénéficier des services et des produits des écosystèmes côtiers décrits dans le chapitre précédent, ces derniers doivent être intégrés à la gestion des risques de désastres naturels. Quoique les écosystèmes génèrent ces services et produits, peu importe s'ils font partie ou non d'un plan de gestion, leur intégration favorise leur utilisation optimale. Ce chapitre présente les trois différentes catégories de mesures de gestion et décrits les éléments de base contenus dans un plan de gestion. Puisque l'essai porte plus spécifiquement sur l'utilisation de mesures écologiques, une emphase particulière est placée sur leur élaboration, leur implémentation et leur suivi. Ensuite, l'utilisation des écosystèmes pour la prévention, protection et mitigation des impacts de désastres naturels est analysée dans le but de faire ressortir les options à privilégier pour la côte est indienne. Finalement, trois mesures de gestion écologiques mises en place en Asie du Sud, et d'intérêt particulier pour l'Inde, sont décrites et analysées. Les cas d'études présentés sont sélectionnés surtout selon leur transférabilité dans les états de la côte est de l'Inde.

4.1. Types de mesures de gestion

Tout d'abord, il est important de définir les différents types de mesures de gestion des risques de désastres naturels. En fait, il existe trois catégories générales de mesures de gestion : le recul planifié, l'accommodation et la protection (Brown et autres, 2013). La figure suivante illustre clairement la différence entre ces trois catégories de mesures de gestion. Il est important de noter que l'illustration de ces mesures est simplifiée et les détails de leur réalisation peuvent grandement varier selon le contexte et les ressources disponibles.

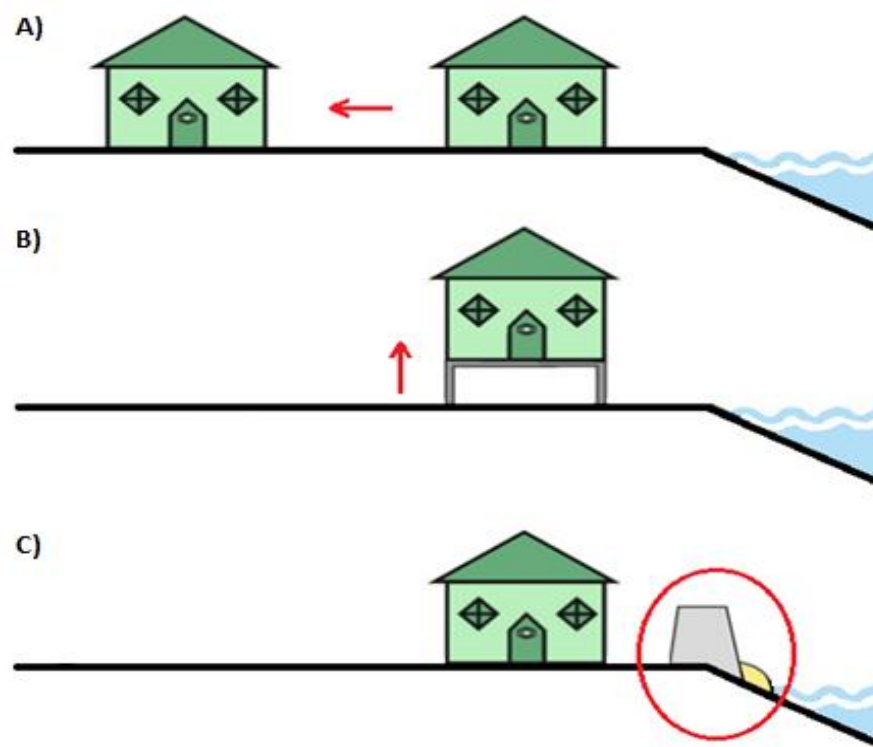


Figure 4.1. Catégories de mesures de gestion des risques de désastres naturels : A) le recul planifié, B) l'accommodation et C) la protection (inspiré de Brown et autres, 2013, p. 135).

Premièrement, le recul planifié consiste à déménager les populations côtières vers une zone où les impacts d'un aléa naturel sont moindres ou inexistants (Brown et autres, 2013). Deuxièmement, l'accommodation est tout simplement la modification des constructions pour résister aux impacts des aléas naturels et diminuer le niveau de risque (Brown et autres, 2013). Finalement, la protection consiste à l'ajout de structures ou systèmes qui forment une barrière ou atténuent les impacts d'un aléa naturel (Brown et autres, 2013). Les mesures de protection sont d'intérêt particulier puisqu'elles permettent de diminuer le niveau de risque des populations locales sans forcer leur déplacement ou leur imposer la modification des bâtiments existants. Les mesures de protection peuvent être divisées en deux types : les mesures structurelles et les mesures non structurelles. La terminologie varie selon les sources, mais les critères utilisés pour distinguer les mesures sont similaires. Généralement, toutes ces mesures peuvent être séparées selon l'approche de gestion favorisée par les autorités responsables.

4.1.1. Mesures de gestion structurelles

Les mesures structurelles sont connues comme des mesures techniques, technologiques, dures ou d'ingénierie. Peu importe le nom attribué, ces mesures sont caractérisées par une intervention humaine axée sur la construction ou la mise en place de structures spécifiquement conçues pour la prévention, protection ou mitigation de désastres naturels (Kannur, 2009; GBM, 2013). Par exemple, des projets comme la construction de barrages, de digues, de brise-lames ou de bassins de stockage d'eau impliquent une approche d'ingénierie menant à la conception d'infrastructures spécifique pour réduire les risques encourus (ProAct Network, 2008; GBM, 2013).

La construction ou l'érection de digues est une mesure de gestion classique pour contrer les impacts des vagues et de la hausse du niveau de la mer (Jha et autres, 2012). La figure suivante illustre un type de digue côtière relativement commune.

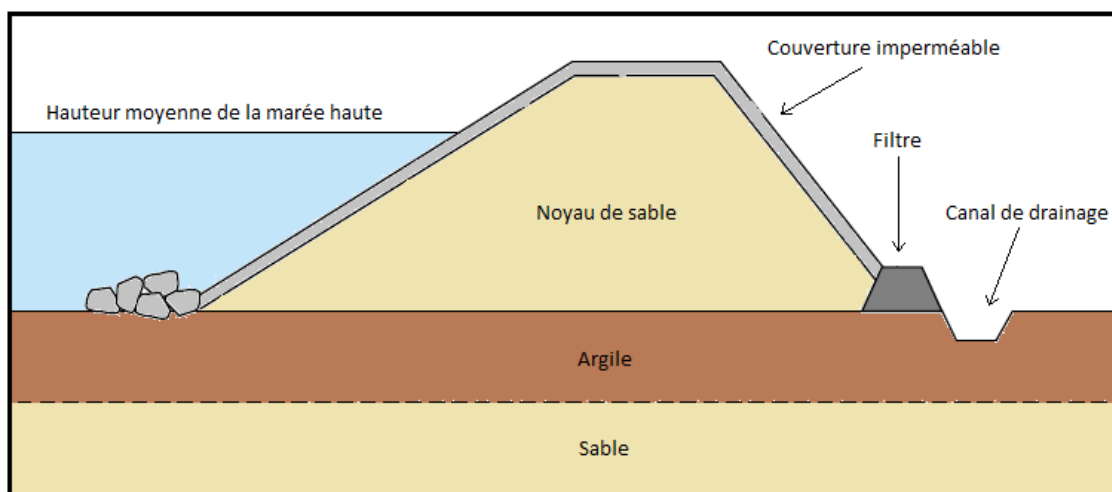


Figure 4.2. Structure typique d'une digue côtière (inspiré de : Linham et Nicholls, 2010, p. 47).

Les coûts d'implémentation des digues sont importants et, dans plusieurs cas, déterminent sa faisabilité. D'ailleurs, cette mesure est envisagée principalement par les pays développés vu les coûts qui y sont rattachés. En général, les coûts de construction peuvent s'élever jusqu'à 29,2 millions de \$ US par kilomètre (Linham et Nicholls, 2010). Les coûts peuvent être réduits en utilisant des matériaux locaux et en limitant la complexité de la structure. Par exemple, la construction de digues de 1 m de hauteur au Vietnam exige un investissement de 0,9 à 1,6 million de dollars US par kilomètre (Linham et Nicholls, 2010).

L'efficacité des digues est indéniable, par contre, malgré un investissement important, le risque d'inondation ne peut être complètement éliminé (Jha et autres, 2012). De plus, l'ampleur de ce genre de structure peut empiéter sur les écosystèmes côtiers et nuire aux processus naturels. La construction des digues peut entraîner la destruction des plages, des dunes et des mangroves et la perte de leurs services et produits écologiques (Linham et Nicholls, 2010).

L'installation de bassins de stockage d'eau peut également être une option structurelle intéressante. Un bassin de stockage d'eau est tout simplement un réservoir construit à proximité d'un cours d'eau sujet à des inondations fréquentes. Les eaux de crues sont déviées vers le bassin et retenues pour éviter l'inondation des terres agricoles ou des zones habitées (Jha et autres, 2012). La construction de ce genre de structure est relativement simple, mais requiert l'assistance d'ingénieurs qualifiés pour les étapes de la conception et de la planification (Jha et autres, 2012). Dans le cas de la côte est de l'Inde, ce genre de mesure structurelle pourrait être efficace sur les rives des estuaires et des lagunes.

Dans certains cas, l'utilisation des écosystèmes pour compléter ou remplacer l'infrastructure est également considérée comme une mesure structurelle. À titre d'exemple, selon le Plan de gestion des désastres du district de Kannur, dans l'état du Kerala situé sur la côte ouest de l'Inde, la mise en place de boucliers biologiques (*bioshields*), comme une étendue de mangroves, est catégorisée une mesure structurelle (Kannur, 2009). Plutôt que de considérer l'aspect d'ingénierie ou de conception d'infrastructure, les gestionnaires du district de Kannur considèrent la fonction de la mesure sélectionnée. C'est-à-dire, si une mesure de gestion occupe le rôle d'une composante de l'infrastructure, celle-ci est catégorisée comme une mesure structurelle. La figure suivante illustre deux exemples de mesures de protection écologiques qui pourraient être considérées structurelles.

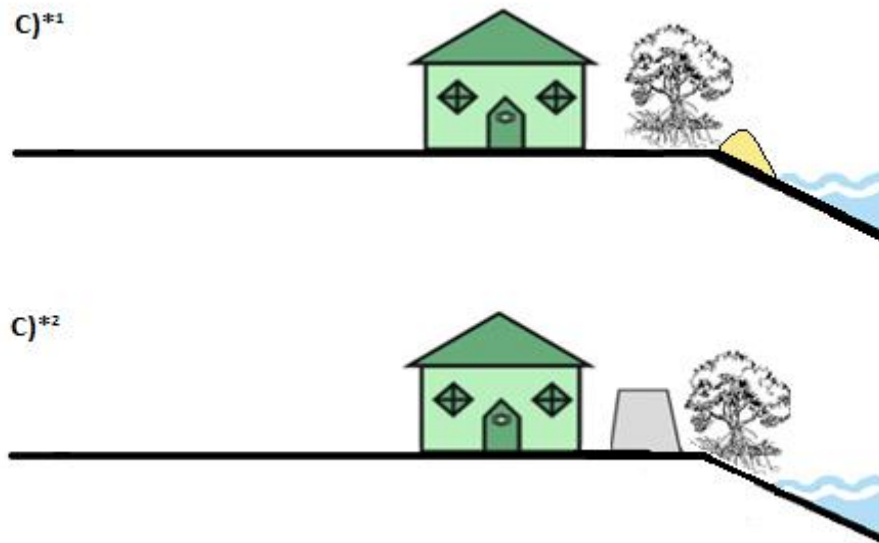


Figure 4.3. Exemples de mesures de protection écologiques : C)*¹ mesure écologique et C)*² combinaison écologique-structurale.

4.1.2. Mesures de gestion écologiques

En général, l'utilisation des écosystèmes est incluse dans la catégorie des mesures non structurelles (GBM, 2013). Ce type de mesure peut impliquer le renforcement du cadre légal et des normes de construction, des programmes de sensibilisation et d'éducation, l'afforestation stratégique ou l'élaboration de plans de gestion intégrée (Kannur, 2009; GBM, 2013). Les mesures non structurelles englobent un plus grand éventail de possibilités à faible coût et représentent la meilleure voie pour la gestion des risques de désastres naturels dans les pays en voie de développement comme l'Inde (GBM, 2013). De plus en plus d'études démontrent que l'approche écologique, ou environnementale, peut être tout aussi efficace et beaucoup moins coûteuse que l'approche structurelle (*ProAct Network*, 2008).

Les options de mesures de gestion écologiques sont variées et peuvent s'intégrer de différentes manières au plan de gestion des risques de désastres naturels. Il est important de comprendre la base du fonctionnement de ce type de mesure pour trouver la clé de leur intégration dans un système de gestion efficace. La présente section décompose l'utilisation des mesures écologiques et met de l'avant leur place dans un plan de gestion intégrée.

Les mesures de gestion écologiques se basent sur l'utilisation des services et des produits écologiques qui réduisent ou limitent les risques associés aux désastres naturels. Par exemple, les mesures illustrées par la figure 4.3 réduisent le niveau de risque en diminuant le degré d'exposition aux aléas. Dans un monde idéal, les services et les produits écologiques sont générés continuellement et sans obstacle. Par contre, la réalité est bien différente parce que les activités humaines influencent l'état des écosystèmes (Barbier et autres, 2011; GIEC, 2012). Que ces activités soient nuisibles ou bénéfiques, elles déterminent le caractère et la qualité des services et des produits que peuvent générer les écosystèmes (Barbier et autres, 2011). La figure suivante illustre cette relation entre les activités humaines, les écosystèmes et leurs services et produits.

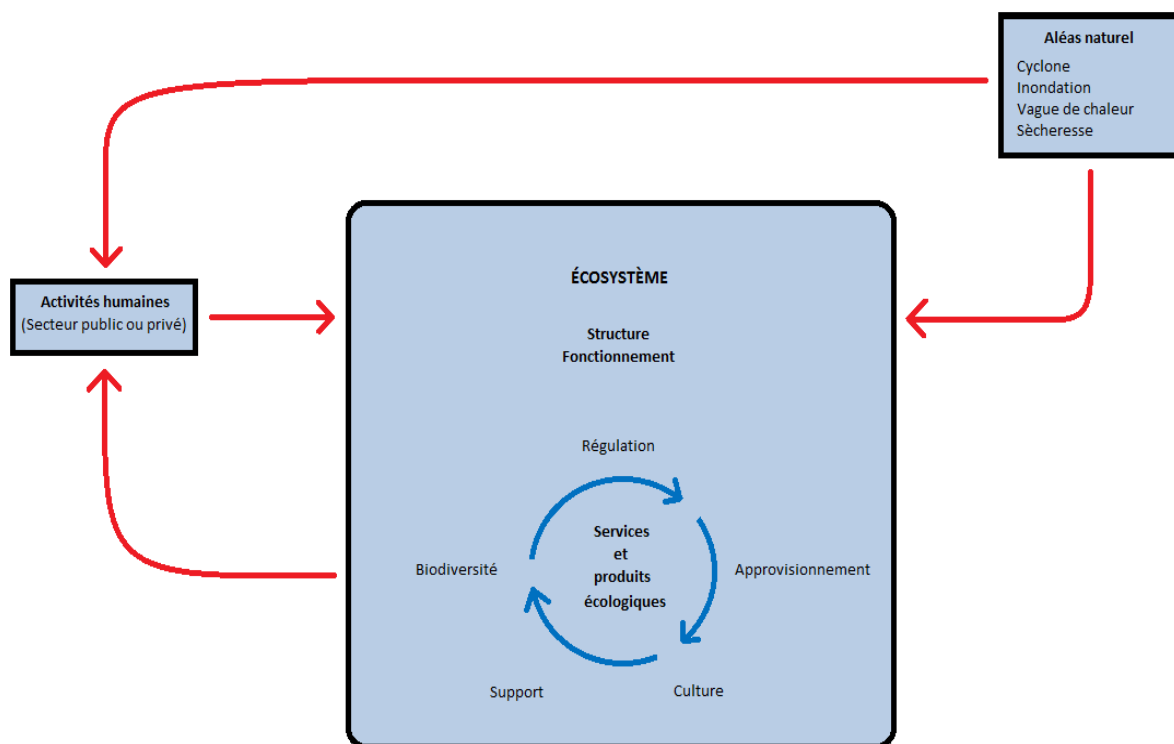


Figure 4.4. Cycle d'utilisation des services et produits écologiques (inspiré de : Barbier et autres, 2011, p. 174).

Les aléas naturels peuvent également avoir un impact significatif sur l'état des écosystèmes. Tout comme certaines activités humaines, les aléas peuvent causer la dégradation des écosystèmes et la perte des services et produits que ceux-ci offrent aux populations humaines (GIEC, 2012). Comme le démontre la figure 4.4, les aléas naturels influencent également le cycle d'utilisation des

services et produits écologiques. La dégradation des écosystèmes peut facilement être amplifiée par la combinaison des activités humaines et des aléas naturels. Par contre, il est possible de gérer les activités humaines pour établir un certain équilibre et limiter la dégradation (PNUD, 2009). C'est-à-dire, les activités humaines nuisibles peuvent être réduites à un minimum et des efforts ciblés peuvent être entamés pour améliorer l'état de l'écosystème et assurer sa pérennité (PNUD, 2009; GIEC, 2012).

Le cycle identifié dans la figure 4.4 peut également être décrit comme une boucle de rétroaction. L'évaluation de la qualité des services et produits de l'écosystème peut indiquer le besoin de réformer les pratiques d'exploitation pour améliorer le fonctionnement ou la structure de l'écosystème. Les efforts de gestion, de conservation ou de restauration des écosystèmes peuvent, par la suite, cibler les services et produits écologiques spécifiques pour maintenir et appuyer le développement humain (Kallesøe et autres, 2008; ONUSIPC et UNDP, 2012).

Les efforts de gestion et les mesures mises en place pour conserver ou restaurer les écosystèmes déterminent leur capacité de réduire le degré d'exposition aux aléas naturels et d'augmenter la résilience des populations locales (ONUSIPC et PNUD, 2012). De plus, ce type de mesure est basée sur les principes du développement durable et de la gestion intégrée des ressources (ÉÉM, 2005; ONUSIPC et PNUD, 2012). La figure suivante présente les éléments de base de l'approche écologique qui s'alignent avec les principes du développement durable.

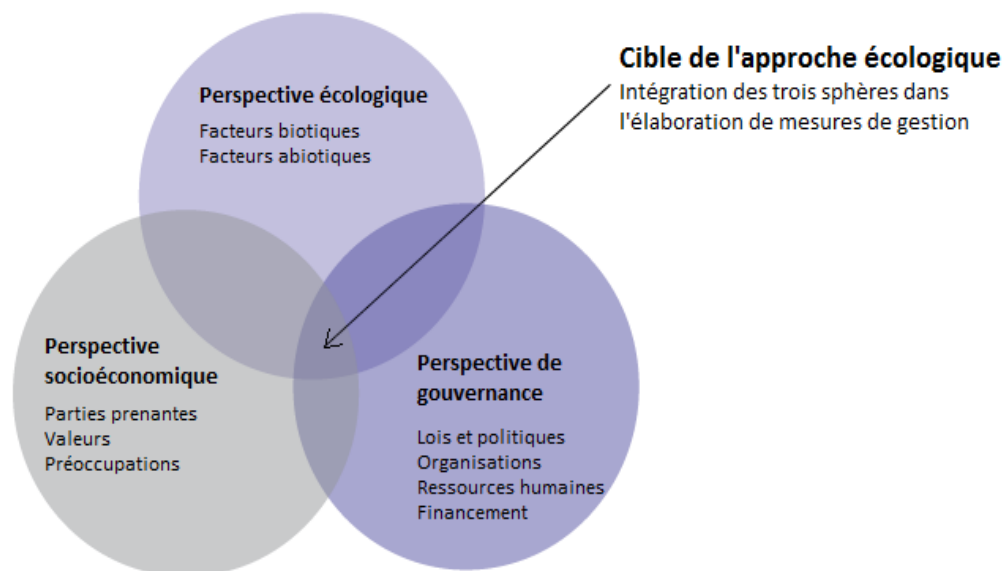


Figure 4.5. Les éléments de l'approche écologique (inspiré de : ONUSIPC et PNUD, 2012).

Selon Kesavan et Swaminathan (2006), la stratégie préférable pour favoriser le maintien de la qualité de l'environnement et la réduction des risques de désastres naturels inclut la gestion durable des ressources naturelles, la conservation, la restauration écologique et la valorisation des écosystèmes tout en éliminant les sources de dégradation. La conservation permet de protéger un écosystème et maintenir son intégrité en délimitant une zone d'accès restreint aux activités humaines (ONUSIPC et PNUD, 2012). Idéalement, la conservation assure le maintien des conditions établies par les efforts de restauration écologique et, par conséquent, le maintien de l'état optimal de l'écosystème. La restauration, quant à elle, peut être amorcée lorsque l'écosystème à protéger est dégradé et son fonctionnement, sa structure et ses conditions physiques doivent être rétablis pour offrir les services et produits écologiques désirés (Clewell et Aronson, 2007). Par contre, il est important de noter que la restauration écologique doit mener au rétablissement de l'écosystème à un état d'autosuffisance (*Society for Ecological Restoration* (SER), 2004; Clewell et Aronson, 2007). Ces deux types de mesures complémentaires sont souvent mises en place ensemble pour augmenter la probabilité de succès d'un plan ou d'un projet de réduction des risques de désastres naturels (ONUSIPC et PNUD, 2012).

L'approche écologique peut donc prendre plusieurs formes, mais elle demeure basée sur la gestion, la conservation et la restauration stratégiques des écosystèmes (ONUSIPC et PNUD, 2012). Dans le cadre de cet essai, la gestion des écosystèmes est défini comme un processus intégré pour la conservation et l'amélioration de l'état des écosystèmes qui soutiennent la génération de services et produits écologiques pour le bien-être humain (Munang et autres, 2013). Selon cette définition, il est possible de déduire que la conservation et la restauration écologique sont des composantes importantes pour le maintien de l'intégrité des écosystèmes. En plus de leur rôle dans la gestion des écosystèmes, celles-ci sont essentielles à la réduction des risques de désastres naturels et à l'adaptation aux changements climatiques (ONUSIPC et PNUD, 2012). Ces composantes s'incorporent au processus de gestion intégrée et servent d'outil pour améliorer et le maintenir l'état des écosystèmes à gérer (ÉÉM, 2005).

4.2. Opportunités de mesures de gestion écologiques pour la côte est de l'Inde

Dans le contexte spécifique de la côte est indienne, certaines mesures écologiques sont plus appropriées que d'autres. En fonction des écosystèmes décrits dans le chapitre précédent, quelques mesures écologiques peuvent être développées pour appuyer la réduction des risques de désastres naturels. L'élaboration de mesures de gestion efficaces implique une analyse approfondie de plusieurs facteurs locaux et régionaux. Par contre, en considérant les écosystèmes présents sur la côte est indienne et les pratiques courantes dans le domaine, certaines options se démarquent.

4.2.1. Récifs coralliens

L'utilisation des récifs coralliens est limitée vu leur distribution restreinte sur la côte est indienne. Dans le cas des récifs du golfe de Mannar et de la baie de Palk, la dégradation causée par les activités humaines et les impacts des changements climatiques a grandement diminué la couverture de corail (Miththapala, 2008a). D'ailleurs, en 1998, un événement *El Niño* (une perturbation cyclique dans la circulation atmosphérique qui cause des altérations sévères au climat) a causé la perte de 50 % des coraux de l'océan Indien (Miththapala, 2008a).

Pour remédier à la situation, un programme incorporant la sensibilisation, l'éducation et diverses initiatives de conservation a été mis en place par le PNUD, le *Global Environment Facility* (GEF), les

départements concernés du gouvernement indien et les communautés locales (ONUSIPC et PNUD, 2012). Ce programme a permis de sensibiliser les populations locales, de réduire l'exploitation du récif et de mettre en place des mécanismes de gestion efficaces pour la Réserve marine du golfe de Mannar. Jusqu'à maintenant les résultats sont prometteurs : la couverture de corail a augmenté de 37 % à 43 % et les impacts de l'intrusion de l'eau salée, des cyclones et des inondations ont été réduits (ONUSIPC et PNUD, 2012). Le rétablissement des conditions physiques propices au développement du corail a donc catalysé le rétablissement partiel des récifs.

Ce programme permet d'identifier des mesures écologiques efficaces pour la gestion des récifs coralliens et pour tous les écosystèmes en général. Dans ce cas en particulier, les récifs se sont régénérés par eux-mêmes, mais des efforts de restauration auraient également pu être entrepris. Le programme aurait pu incorporer, par exemple, la recolonisation des parcelles de récifs hautement dégradées pour accélérer le processus de régénération. Par contre, la recolonisation, ou la transplantation, de corail est efficace seulement à petite échelle vu la fragilité du corail au changement de conditions physiques (ÉÉM, 2005). Il est donc crucial de conserver activement les récifs existants et assurer leur maintien.

4.2.2. Herbiers marins

À l'exception de quelques herbiers dans les lagunes sur la côte, la majorité des herbiers marins se trouvent à proximité des formations récifales qui permettent le maintien des conditions nécessaires à la prolifération des herbes (Miththapala, 2008b). En fait, en réduisant l'énergie des vagues, les récifs coralliens facilitent le développement des herbiers. La restauration des herbiers peut donc être entreprise en assurant la gestion efficace des récifs.

Cet exemple démontre que, lors du processus de gestion, il est crucial de bien délimiter l'étendue des écosystèmes et d'identifier les liens interdépendants qui doivent être maintenus (ÉÉM, 2005). Les liens entre les écosystèmes côtiers sont d'importance majeure dans la gestion de la zone côtière. En fait, la compréhension de la dynamique écologique facilite le maintien des écosystèmes et de leur plein potentiel de protection.

4.2.3. Mangroves et marais salés

La restauration écologique des mangroves et des marais salés est relativement facile dans les régions où la diversité des espèces de palétuviers est faible (ÉÉM, 2005). Par contre, ce n'est pas le cas de la côte est indienne. La diversité des palétuviers et autres plantes des mangroves et marais salés de la côte est indienne rend la restauration plus complexe. L'état des connaissances est généralement bien développé pour ces écosystèmes, puisqu'ils font l'objet de nombreuses études, mais il est incertain que le rétablissement de l'autosuffisance soit possible à tout coup (ÉÉM, 2005).

De plus, le succès de projet de restauration écologique de mangroves et de marais salés dépend de l'état des cours d'eau qui y sont associés (ÉÉM, 2005). Les caractéristiques et conditions physiques des écosystèmes et des cours d'eau doivent également être considérées dans tout processus d'élaboration de mesures de gestion. L'efficacité des mangroves pour la réduction des risques de désastres naturels dépend de plusieurs facteurs incluant ceux présentés dans le tableau suivant. Dans certains cas, la section 3.2.3 précise les descriptions du tableau.

Tableau 4.1. Facteurs de performance des mangroves pour la réduction des impacts (inspiré de : *ProAct Network, 2008, p. 17-18*).

Facteurs	Description
Épaisseur de la bande végétale	<p>L'épaisseur de l'étendue de mangroves détermine son efficacité en tant que zone tampon. Les données disponibles d'études scientifiques varient de principalement de 100 à 1500 m d'épaisseur.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 20-50 m : zone tampon exigée aux Philippines. • 500-1000 m : bande protectrice maintenue dans le delta du Mékong • 200 m : bande requise par la loi en Malaisie pour la protection des terres agricoles
Densité de la végétation	La densité des palétuviers contribue à augmenter la friction avec les vagues. La capacité de dissipation des mangroves est donc modulée par la densité de la zone tampon.
Structure et composition de l'écosystème	Les caractéristiques comme la distance de la côte, le type de végétation et le degré de fragmentation de l'habitat déterminent la capacité de résistance aux intempéries.
Biodiversité	<p>Différentes espèces de palétuviers ont différentes capacités de dissipation des vagues.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Avicennia</i> : bande de 50 m peut réduire une vague de 1 m à 0,3 m • <i>Sonneratia</i> : bande de 100 m peut dissiper 50 % de l'énergie des vagues <p>Les deux espèces les plus efficaces sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Pandanus odoratissimus</i> • <i>Rhizophora apiculata</i>
Âge de l'écosystème	L'épaisseur de la bande végétale, la densité de la végétation et la taille des plantes peuvent être liées directement à l'âge de l'écosystème. La fonctionnalité de l'écosystème est atteinte en fonction de son stade de développement.
Taille des arbres	Les arbres (palétuviers) de plus grande taille offrent plus de résistance aux vagues.

Chacun de ces facteurs doit être considéré et abordé dans la planification des projets de restauration. L'intégration de chacun de ces facteurs facilite l'atteinte des résultats souhaités pour la réduction des risques de désastres naturels et l'utilisation des services et produits écologiques (*ProAct Network, 2008*).

Malgré certaines difficultés, la restauration des mangroves et marais salés est tout de même la mesure écologique privilégiée par les populations côtières pour la réduction des risques de désastres naturels (ONUSIPC et PNUD, 2012). D'ailleurs, la *Organization for Marine Conservation*

Awareness and Research (OMCAR), avec la collaboration d'organisations non gouvernementales (ONG), a mis en place un projet de restauration de mangroves dans le sud de l'état du Tamil Nadu (OMCAR, 2012; *Lighthouse Foundation*, s. d.). La réalisation de ce projet a permis la restauration de 7 ha de mangroves éparpillés sur 11 sites différents en semant des plantules de deux espèces de palétuviers, *Rhizophora apiculata* et *Avecennia marina* (*Lighthouse Foundation*, s. d.). Malgré le fait que ce projet soit considéré un succès, les efforts de restauration ont seulement permis de restaurer une fraction minime de l'aire de distribution des mangroves. De plus, il est fort probable que l'utilisation de seulement deux espèces, dont *R. apiculata* qui n'est pas native de cette région de l'Inde, ne favorise pas le maintien de la biodiversité régionale.

Comme le démontrent les diverses considérations requises présentées dans le tableau 4.1 et dans l'exemple ci-dessus, le processus de planification des projets de restauration de mangroves peut être plutôt complexe. En revanche, la phase d'exécution est relativement simple et peu coûteuse (*ProAct Network*, 2008). Des programmes de conservation, de sensibilisation et d'éducation doivent être mis en place de pair à la restauration pour assurer le maintien des écosystèmes à long terme. Les conflits politiques et la pauvreté augmentent la dépendance des populations humaines sur les ressources naturelles et peuvent augmenter la pression sur les écosystèmes et compromettre leur maintien (*ProAct Network*, 2008).

4.2.4. Dunes

Les dunes servent de muraille capable de protéger les populations côtières et leurs bâtiments en bloquant les vagues et les ondes de tempêtes. Par exemple, une dune de 4,5 m de hauteur est capable d'atténuer une vague atteignant jusqu'à 5 m de hauteur et protéger les bâtiments qui se trouvent derrière (Mascarenhas et Jayakumar, 2008). Par contre, leur efficacité dépend de plusieurs facteurs physiques et écologiques.

La formation de dunes est étroitement liée à la végétation côtière et leur maintien dépend de la végétation capable de les coloniser (Rodrigues et autres, 2011). En fait, la conservation des dunes intactes est cruciale non seulement pour leur rôle dans la protection contre les aléas naturels, mais également pour le maintien de la biodiversité de la côte. Tout comme dans le cas de la sélection des espèces de palétuviers, la végétation des dunes restaurées doit représenter la végétation native pour contribuer au maintien de la biodiversité régionale.

Dans le cas où les dunes sont fortement dégradées, comme sur la côte est indienne, des mesures de restauration peuvent être mises en place. Des combinaisons de mesures incluant l'entretien régulier des plages, la revégétalisation, la reconstitution et la création de dunes peuvent être efficaces (GIEC, 2012). La quantité de sable nécessaire est importante et doit être considérée lors de la phase de planification des efforts de restauration. La hauteur, l'épaisseur et l'étendue des dunes restaurées dépendent de la quantité de sable disponible. Dans un cas idéal, le sable n'est pas un facteur limitant et les dunes peuvent être restaurées à une hauteur d'au moins quatre mètres et s'étendre aussi loin que nécessaire pour protéger l'ensemble des populations locales et de leurs bâtiments.

Un projet de restauration de dunes sur la plage de Miramar, dans l'état de Goa sur la côte ouest de l'Inde, en collaboration avec les autorités locales présente une alternative dans le cas où l'accessibilité au sable est restreinte (Mascarenhas, 2008). Dans le but d'accélérer le processus naturel d'accumulation de sable, deux rangées de clôtures coupées en sections de 3 m de long ont été installées sur une étendue de 160 m de la plage (Mascarenhas, 2008). L'objectif était de faciliter l'accumulation du sable à l'arrière des clôtures par l'action naturelle du vent (Mascarenhas, 2008). Plus spécifiquement, le sable poussé par le vent vers le continent est forcé entre les sections de clôtures et s'accumule progressivement à l'arrière de celles-ci. En trois mois, une moyenne de deux mètres cubes (m^3) s'est accumulée derrière chaque clôture (Mascarenhas, 2008). Le taux d'accumulation est lent, mais de cette manière la restauration des dunes peut être réalisée naturellement sans l'utilisation de machineries, sans le transport de sable et sans dépenses importantes.

Comme dans la majorité des projets de restauration, des initiatives de conservation doivent être présentes pour assurer la sauvegarde de la performance. Dans le cas de la revégétalisation des dunes, des clôtures peuvent être installées autour des zones restaurées pour protéger les plantules (Mascarenhas et Jayakumar, 2008). De plus, pour éviter le déplacement et la migration vers l'intérieur du continent, une bande végétale doit être conservée à l'arrière des dunes (Miththapala, 2008b). La végétation permet de retenir les dunes en place lorsque les vents et les vagues les repoussent vers les terres.

4.2.5. Estuaires, lagunes et deltas de rivière

La protection de ce système de transition est cruciale au maintien du fonctionnement des écosystèmes côtiers et des services et produits que ceux-ci offrent aux populations côtières. Les estuaires, lagunes et deltas de rivières sont généralement de plus grande envergure et la réalisation de projets de restauration pour remédier à la dégradation s'avère difficilement réalisable. En fait, les projets à grande échelle sont très coûteux et sont réalisés presque exclusivement dans les pays développés où le financement est disponible (ÉÉM, 2005). La conservation et le changement progressif à l'exploitation durable des ressources peuvent donc être des options viables pour ce type d'écosystème.

La conservation est un processus complexe qui implique, entre autres, l'évaluation de l'état de l'écosystème, la délimitation de la zone à conserver et la restriction des activités humaines nuisibles. Par contre, la tâche est légèrement simplifiée si elle est réalisée par une organisation ou une agence déjà familière avec le ou les écosystèmes ciblés. En fait, la conservation est généralement prise en charge par une agence ou un département gouvernemental lié au milieu (UICN, 2013). La conservation d'un estuaire pourrait donc être intégrée aux fonctions de l'agence responsable de la gestion du bassin versant ou du département responsable de la gestion des ressources naturelles.

Par exemple, les populations entourant le lac Chilika, une lagune côtière dans l'état d'Odisha, ont opté pour la gestion intégrée de leurs écosystèmes pour assurer la pérennité des ressources naturelles (Iwasaki et autres, 2009). Puisque les populations locales dépendent de ressources sensibles aux impacts des changements climatiques, des mécanismes d'adaptation doivent être mis en place (Iwasaki et autres, 2009). L'objectif du projet est de maintenir et, préférablement, d'augmenter les stocks de poissons de la lagune (Iwasaki et autres, 2009). Pour ce faire, le *Chilika Development Authority* a élaboré un plan d'action incluant la gestion de l'embouchure et la conservation du bassin versant (Iwasaki et autres, 2009). La gestion de la lagune a été jointe à la gestion du bassin versant dans le but d'éliminer ou de réduire les sources de contaminations en provenance des terres en amont.

L'envergure du lac Chilika rend inefficaces les mesures de gestion à petite échelle et exige la mise en place d'un système de gestion qui prend en compte les liens étroits entre tous les écosystèmes

à l'intérieur du bassin versant (ÉÉM, 2005; Iwasaki et autres, 2009). Les mesures de gestion à petite échelle doivent faire partie d'un réseau ou être liées les unes avec les autres pour obtenir les résultats espérés (ÉÉM, 2005). C'est-à-dire, comme mentionné dans la section 4.2.2, l'idéal est un plan de gestion qui intègre tous les écosystèmes interdépendants et qui identifie les interventions stratégiques permettant d'éliminer ou de réduire les différentes sources de dégradation de l'ensemble des écosystèmes.

4.3. Gestion écologique : trois études de cas de l'Asie du Sud

En plus des divers exemples cités précédemment, les trois cas d'études présentées dans cette section permettent, entre autres, d'identifier les pratiques courantes dans le domaine de la gestion des risques de désastres naturels. Ces cas servent d'exemples de mesures couramment utilisées dans la région de l'Asie du Sud et ses pays côtiers en voie de développement. Les cas ont été sélectionnés selon leur pertinence, ou représentativité, dans le contexte de la côte est indienne, la disponibilité d'information et de résultats précis et le niveau d'intégration des principes du développement durable. Plus précisément, l'objectif de la réalisation des études de cas est de faire le survol des réussites dans le domaine pour faciliter l'analyse du chapitre suivant et appuyer les recommandations effectuées par la suite. La figure suivante situe les trois lieux d'étude. Les cas choisis bordent le golfe du Bengale, se trouvent plus ou moins dans la même zone biogéographique et partagent des caractéristiques physiques similaires.

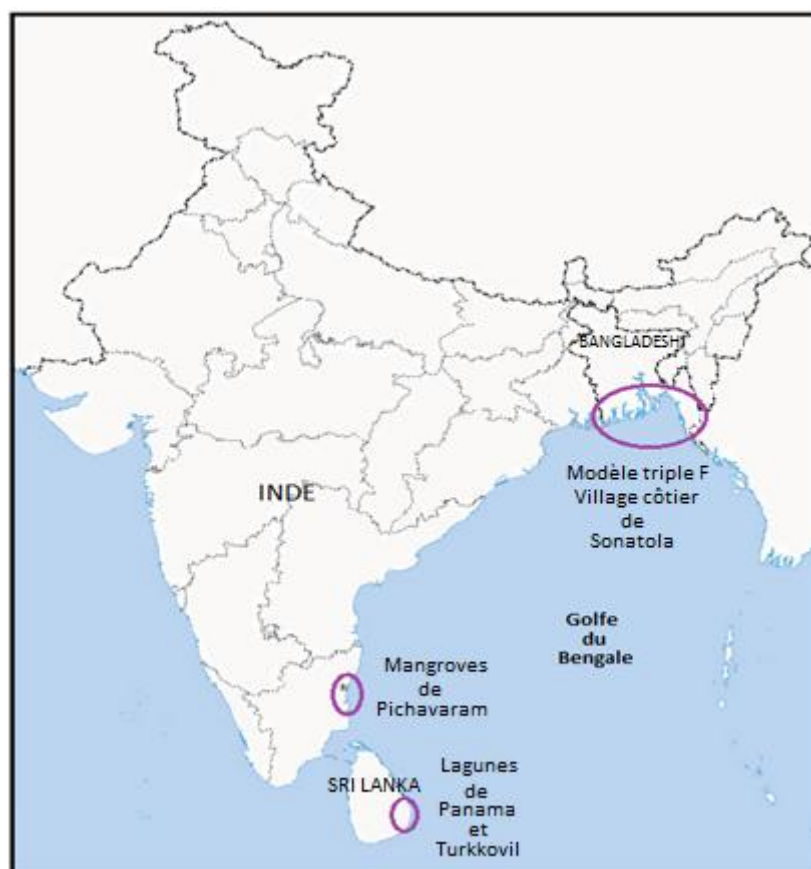


Figure 4.6. Carte indiquant les trois régions mentionnées dans les études de cas (cercles mauves).

De plus, le tableau suivant synthétise l'information présentée dans les sections 4.3.1 à 4.3.3 pour identifier les points saillants et les faits les plus importants à retenir. Ce tableau compte également une section qui porte sur les leçons à retenir dans chaque étude de cas. Ces leçons sont appliquées dans le choix et dans l'élaboration des mesures de gestion écologiques pour l'analyse (chapitre 5).

Tableau 4.2. Synthèse des trois études de cas et de leur efficacité (compilation d'après : *Mangrove Action Project (MAP)*, 2008; Noguchi et autres, 2012; Islam, 2012).

Composantes des cas d'étude	La gestion communautaire des mangroves	La restauration de la végétation littorale	La mise en place du Modèle triple F
Lieu d'étude	Inde Tamil Nadu Mangroves de Pichavaram	Sri Lanka Lagunes de Panama et Turkkovil	Bangladesh Village côtier de Sonatola Barguna
Problématique	<ul style="list-style-type: none"> • Surexploitation des ressources naturelles • Perte de la couverture forestière • Système de gestion inapproprié 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures structurelles mal planifiées • Surexploitation des ressources naturelles • Impacts répétitifs d'aléas naturels 	<ul style="list-style-type: none"> • Insécurité alimentaire • Absence d'infrastructure • Perte de la couverture forestière • Impacts répétitifs d'aléas naturels
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorer la capacité de gestion et d'intervention des autorités et des communautés • Restauration des mangroves • Conservation des étendues intactes et restaurées • Utilisation durable des ressources naturelles 	<ul style="list-style-type: none"> • Protéger les communautés sélectionnées des impacts des changements climatiques et des aléas naturels • Implanter un programme de restauration des mangroves et de la végétation côtière • Assurer la participation des communautés • Augmenter la résilience des communautés 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire le degré d'exposition aux aléas naturels des populations côtières • Augmenter la sécurité alimentaire des populations côtières • Créer des sources de revenus additionnelles • Éduquer et sensibiliser les populations côtières pour l'utilisation durable des ressources naturelles

Tableau 4.2. Synthèse des trois études de cas et de leur efficacité (compilation d'après : MAP, 2008; Noguchi et autres, 2012; Islam, 2012) (suite).

Composantes des cas d'étude	La gestion communautaire des mangroves	La restauration de la végétation littorale	La mise en place du Modèle triple F
Mesures de gestion	<ul style="list-style-type: none"> • Création de conseils communautaires • Restauration des étendues de mangroves dégradées • Formation de groupes d'autoassistance • Élaboration d'activités de lever de fonds • Mise en place de programmes de développement social 	<ul style="list-style-type: none"> • Déblayage des sites sélectionnés • Restauration du flux naturel des cours d'eau • Stabilisation des bandes riveraines et des sols érodés • Plantation de palétuviers 	<ul style="list-style-type: none"> • Restauration d'une bande protectrice de mangroves • Appui financier pour la mise en place du modèle • Creusage de tranchées et formation d'amoncellement de terre arable • Plantation d'arbres fruitiers et semence de légumes • Empoisonnement des tranchées • Éducation et sensibilisation des populations côtières concernées
Résultats	Régénération d'un total de 293 ha de mangroves	Régénération d'un total de 24 ha de mangroves	Plantation de 7 023 ha incluant 6 100 ha de mangroves
Leçons à retenir	<ul style="list-style-type: none"> • La création de conseils communautaires responsabilise les populations locales et réduit leur dépendance sur les autorités. • La collaboration entre les autorités responsables et les conseils communautaires facilite l'identification et l'atteinte des objectifs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Le processus de régénération de grandes étendues de mangroves et marais salés est de longue durée. • La participation des populations locales dans chaque étape du processus facilite la continuité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Offrir ou mettre à l'évidence des bénéfices directs des efforts de gestion écologique assure l'atteinte des objectifs. • Prioriser l'augmentation de la résilience socioéconomique facilite l'implémentation de mesures de gestion et l'acceptabilité sociale. • Le financement et l'appui d'organisations internationales rendent possible la réalisation de mesures de gestion à plus grande échelle.

4.3.1. Étude de cas #1 : La gestion communautaire des mangroves

Les mangroves de Pichavaram, au sud de la côte est indienne, sont la deuxième plus grande étendue de mangroves de l'état du Tamil Nadu (figure 4.6). Malgré la protection de ces mangroves par le gouvernement étatique depuis 1893, la pression constante du développement des activités humaines a causé la dégradation de l'écosystème (Noguchi et autres, 2012). En 1970, une évaluation de la dégradation des mangroves a déterminé que la couverture forestière avait diminué de près de 42 %, soit de 640 à 372 ha (Noguchi et autres, 2012). Le système de gestion qui favorisait la coupe forestière commerciale a mené à la perte d'une grande partie des mangroves et des services et produits écologiques (Noguchi et autres, 2012).

Depuis 1990, le *M. S. Swaminathan Research Foundation* (MSSRF) a réussi à restaurer la majorité du territoire couvert à l'origine par les mangroves de Pichavaram (Noguchi et autres, 2012). Par contre, sans un nouveau système de gestion adapté à la réalité socioéconomique des populations humaines environnantes, la réinitialisation du cycle de dégradation était inévitable. Pour cette raison, un projet pilote, le *Joint Mangrove Management Programs*, a été implanté de 1996 à 2004 par le Département des forêts du Tamil Nadu, le MSSRF et les communautés locales (MSSRF, 2003; Noguchi et autres, 2012). L'objectif principal de ce projet est d'améliorer la capacité de gestion et d'intervention des communautés et des agences gouvernementales pour la restauration, la conservation et l'utilisation durable des mangroves (Noguchi et autres, 2012). De plus, le projet exige la participation de toutes les parties prenantes dans les processus d'analyse et d'élaboration du plan de gestion (Noguchi et autres, 2012).

Les mesures de gestion employées sont basées sur l'amélioration des mécanismes de gestion et la restauration des mangroves dégradées. En fait, le projet a mené à la formation de *Village Mangrove Councils* (VMC) appuyer financièrement par le MSSRF pour l'élaboration de plans de gestion à petite échelle selon les besoins de chaque communauté (Noguchi et autres, 2012). Environ 480 familles forment les VMC et se chargent de préparer et de mettre en œuvre leurs propres plans d'action annuellement (Noguchi et autres, 2012). De plus, le projet a permis la formation de groupes d'autoassistance (*self-help groups*) qui ont créé différentes activités pour générer des fonds pour le financement de la continuité du projet et la mise en place de programmes de développement social (Noguchi et autres, 2012).

Selon les données satellites analysées, en 2002, la couverture de mangroves avait augmenté d'environ 293 ha depuis 1986 (Noguchi et autres, 2012). De ce total, 250 ha ont été restaurés lors de la réalisation du projet par les VMC et leurs interventions sur le terrain (Noguchi et autres, 2012). Actuellement, la restauration est la responsabilité du Département des forêts du Tamil Nadu. Depuis avoir pris la relève, le Département des forêts, en collaboration avec le MSSRF, a procédé à creuser des tranchées qui facilitent le mouvement de la marée pour rétablir les conditions physiques nécessaires au rétablissement des mangroves (Inde, 2008).

4.3.2. Étude de cas #2 : La restauration de la végétation littorale

Les lagunes de Panama et de Turkkovil se trouvent dans le district d'Ampara au sud-est du Sri Lanka (figure 4.6). Tout comme la majorité des régions défavorisées de l'Asie du Sud, le manque de moyen de subsistance alternatif et la surexploitation des ressources naturelles ont mené à la dégradation des écosystèmes (MAP, 2008). La combinaison de mesures de gestion structurelles mal planifiées, de la surexploitation des ressources naturelles et des impacts d'aléas naturels à répétition a causé la perte de la plupart des défenses naturelles de la côte est du Sri Lanka (MAP, 2008). En fait, à la suite du tsunami, en 2004, environ 40 % à 60 % des mangroves de la lagune de Panama ont été gravement dégradées tandis que la majorité de la couverture des mangroves de la lagune de Turkkovil a été perdue (UICN, 2007; MAP, 2008). De plus, la région du district d'Ampara est caractérisée par un taux de pauvreté élevé et est située au sein d'une zone affectée par des conflits politiques (MAP, 2008).

Dans le but de régénérer la protection naturelle et d'augmenter la résilience des populations locales, un projet de 21 mois a été mis en place par la fondation Sevalanka, l'UICN du Sri Lanka, le MAP et le *Diakonie Katastrophenhilfe* (MAP, 2008). Ce projet avait comme objectif de protéger les communautés côtières sélectionnées dans le district d'Ampara des impacts négatifs des changements climatiques et de désastres naturels futurs par la mise en place d'un programme de restauration de mangroves et de végétation côtière (MAP, 2008). Le projet devait également encourager la participation des communautés sélectionnées pour entreprendre des actions qui visaient l'augmenter de leur capacité d'adaptation (MAP, 2008).

Avec l'aide des communautés, la restauration des mangroves s'est effectuée en quatre étapes : le déblayage, la restauration du flux naturel de l'eau, la stabilisation du sol et la plantation des

palétuviers (MAP, 2008). Les sites sélectionnés ont donc été préparés en les libérant de débris et en rétablissant le flux naturel des cours d'eau. Par la suite, les sols et bandes riveraines gravement érodés ont été stabilisés pour faciliter la plantation et favoriser la croissance des plantules. Finalement, un total de 44000 plantules de palétuviers ont été plantées sur les sites des lagunes de Panama et Turkkovil (MAP, 2008).

Les plantules ont été dispersées dans le but de reboiser une bande de 4 km de long par 30 m de large sur les rives de chaque lagune (MAP, 2008). C'est-à-dire, un total de 8 km par 30 m de mangroves, soit 24 ha, ont été restaurées par la réalisation de ce projet. De plus, le projet a permis d'éduquer et de sensibiliser les communautés ainsi que de leur donner les outils pour de futurs projets. Plus spécifiquement, les communautés ont participé à chacune des démarches du projet et ont mis en place les installations nécessaires, comme les pépinières, pour non seulement restaurer les mangroves, mais également l'ensemble de la végétation côtière (MAP, 2008).

4.3.3. Étude de cas #3 : La mise en place du Modèle triple F

Les districts côtiers à l'est du Bangladesh sont particulièrement à risque de désastres naturels. Les populations côtières sont majoritairement sous le seuil de pauvreté et incapable de s'adapter adéquatement au grand nombre d'aléas naturels, comme des cyclones et des inondations, auxquels elles font face. De plus, l'insécurité alimentaire, le manque d'infrastructure et la perte de couverture forestière, incluant les mangroves, augmentent la vulnérabilité de ces populations (Islam, 2012). Pour pallier ces circonstances, les mesures de gestion mises en place doivent non seulement réduire le degré d'exposition aux aléas, mais augmenter la résilience des populations côtières.

Dans ce cas particulier, le Département des forêts du Bangladesh et le PNUD ont collaboré pour l'élaboration et la mise en place d'un projet de développement durable sur quatre sites dans trois districts côtiers du Bangladesh (figure 4.6) (Islam, 2012). Par exemple, le projet a été implanté avec succès dans le village de Sonatola du district de Barguna où les diverses mesures employées viennent en aide directement à environ 80 familles défavorisées (Haq, 2012). Le Modèle triple F consiste à réaliser des interventions écologiques pour créer les conditions nécessaires à l'agriculture sur des terres intertidales infertiles (Islam, 2012). En fait, le Modèle triple F implique

la modification de l'environnement côtier de façon durable pour permettre la récolte de *Forests, Fruits and Fish* (forêts, fruits et poissons) (Haq, 2012). Les mesures de gestion employées permettent donc le reboisement ainsi que la production de fruits et l'exploitation de poissons. De plus, un aspect important du projet est l'éducation et la sensibilisation des communautés côtières pour favoriser l'utilisation durable des ressources une fois le projet mis en place (Islam, 2012).

Le Modèle triple F est relativement simple, mais requiert la modification des terres intertidales pour les rendre propices à l'agriculture. La figure suivante présente la structure du modèle et illustre les modifications requises pour sa mise en place.

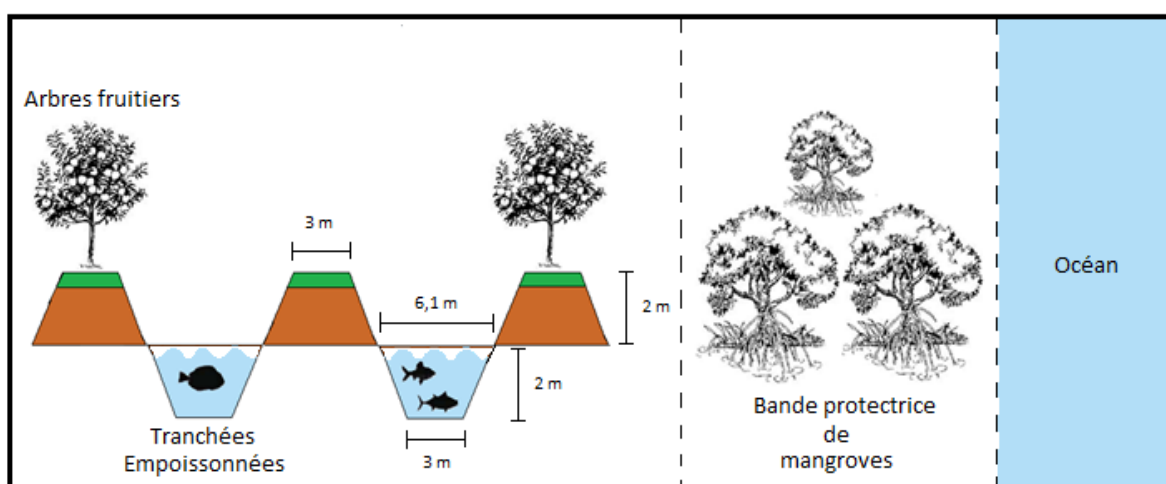


Figure 4.7. Structure du Modèle triple F (inspiré de : PNUD, 2011).

Tout d'abord, les terres intertidales doivent être aménagées selon les paramètres spécifiés du Modèle triple F (figure 4.7). Sur seulement 1 ha de terre, huit amoncellements et huit tranchées peuvent être installés (Islam, 2012). Une fois l'aménagement terminé, les arbres fruitiers peuvent être plantés et les légumes peuvent être semés. À la suite de l'accumulation d'une quantité suffisante d'eau de pluie dans les tranchées, les poissons peuvent y être libérés. Dans certains cas, des canards peuvent également être élevés dans les tranchées et leurs excréments utilisés comme engrais et nourriture pour les poissons (PNUD, 2011). Un à deux ans après l'aménagement complet du modèle, une grande quantité de fruits, de légumes et de poissons peuvent être récoltés par les familles participantes pour leur propre consommation ou pour être vendu dans les marchés (PNUD, 2011; Islam, 2012). Par contre, l'aménagement du modèle est inutile sans la

plantation ou la restauration d'une bande de mangroves protectrice (Islam, 2012). La restauration de mangroves est donc une composante essentielle du projet malgré le fait que ce ne soit pas le point central.

Chaque famille participante se voit attribuer un amoncellement pour la récolte de fruits et légumes et une tranchée pour la pêche (Islam, 2012). Les familles participent à l'aménagement de leurs parcelles et reçoivent de l'appui financier des fonds offerts par le PNUD (Islam, 2012). Les plantules, graines et poissons sont fournis par les Départements des forêts et des pêcheries (Islam, 2012). De plus, les ateliers de formation portant sur la gestion forestière, le maintien de pépinières et des composantes du Modèle triple F sont centrales au succès du projet (Islam, 2012). Les communautés doivent être en mesure de gérer leurs terres et conserver les écosystèmes environnants. Le projet assure la durabilité en ancrant les mesures de gestion risques des désastres naturels avec des mesures qui offrent des sources de revenus additionnelles pour les membres de la communauté (Islam, 2012).

Depuis le début du projet, la plantation de 6 100 ha de mangroves a été amorcée (Islam, 2012). De plus, 923 ha d'arbres autres que les mangroves, comme les arbres fruitiers, ont été plantés à travers les quatre sites sélectionnés (Islam, 2012). La productivité du modèle permet aux familles participantes de générer environ 800 \$ US après la première année de récoltes (Islam, 2012). Ces récoltes complètent la diète des familles participantes avec des fruits, des légumes et du poisson et augmentent significativement leur sécurité alimentaire (PNUD, 2011; Islam, 2012). De plus, la source de revenus additionnelle augmente la capacité d'adaptation des communautés face aux changements climatiques et l'augmentation de la force et de la fréquence des aléas naturels (Islam, 2012; Haq, 2012).

CHAPTRE 5. ANALYSE DU POTENTIEL D'UTILISATION DES MESURES DE GESTION ÉCOLOGIQUES

Les différentes mesures de gestion écologiques présentées dans le chapitre quatre, sous la forme de brefs exemples (section 4.3) ou de cas d'étude (section 4.4), permettent d'identifier les voies possibles d'une approche novatrice à la gestion des risques associés aux désastres naturels. Pour appuyer les décisions des gestionnaires, une analyse structurée des différentes possibilités met à l'évidence les mérites et les lacunes des mesures de type écologique. Ce chapitre présente les critères d'analyse, les mesures de gestion et une grille d'analyse qui mènent à l'évaluation du potentiel d'utilisation des mesures de gestion écologiques. La réalisation de l'analyse permet l'atteinte de l'objectif principal de cet essai. C'est-à-dire, les résultats de l'analyse permettent de déterminer le potentiel d'utilisation des écosystèmes côtiers pour la gestion des impacts d'aléas naturels.

5.1. Approche méthodologique retenue

Dans le contexte de l'adaptation aux impacts des changements climatiques, les mesures de gestion des risques de désastres naturels doivent incorporer les principes du développement durable (GIEC, 2007a). L'analyse effectuée pour déterminer l'efficacité et le potentiel d'utilisation des mesures de gestion doit donc également prendre en considération l'application de ces principes. Pour choisir le type d'analyse approprié, la CCNUCC propose un schéma, présenté dans la figure suivante, qui sert de guide pour orienter l'approche des gestionnaires.

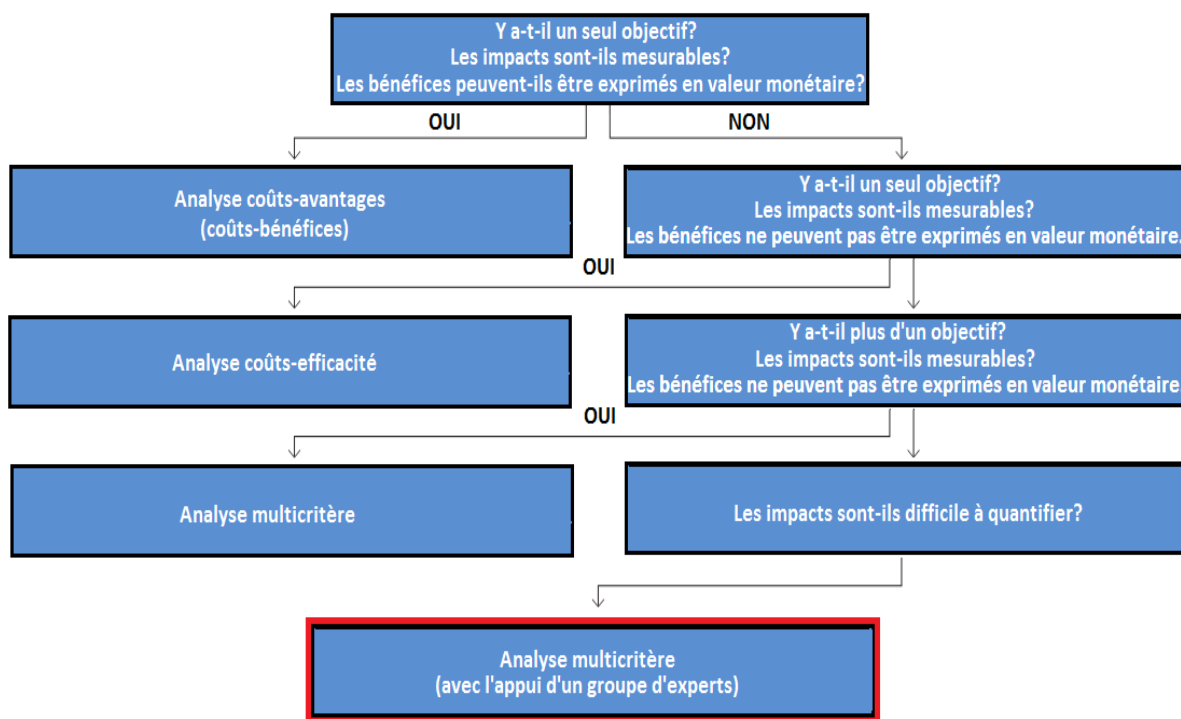


Figure 5.1. Schéma pour la sélection du type d'analyse pour les mesures de gestion (traduction libre de : CCNUCC, 2011, p. 11).

Selon ce schéma, l'analyse multicritère est préférable lorsque : plusieurs objectifs doivent être atteint, les impacts et résultats observés sont difficile à mesurer et les bénéfices ne sont pas entièrement quantifiable en valeur financière (CCUNCC, 2011). L'élaboration d'une méthodologie spécifique pour l'analyse de mesures de gestion est un processus intensif qui requiert la collaboration d'experts de plusieurs disciplines et plusieurs mois, sinon des années, de travail (PNUE, 2011b). Pour cette raison, l'analyse effectuée est basée sur une méthodologie existante élaborée par le PNUE avec la collaboration de plusieurs organisations, de quelques gouvernements et de divers experts (PNUE, 2011b).

La réalisation de l'analyse multicritère *MCA4climate* permet d'évaluer des politiques, des projets ou des mesures de gestion élaborés en réponse aux changements climatiques selon les principes du développement durable (PNUE, 2011b; CCNUCC, 2011). De plus, cette analyse facilite la hiérarchisation des différentes options pour faciliter le processus décisionnel (PNUE, 2011b).

5.2. Critères d'analyse

Les critères à utiliser dans la méthodologie *MCA4climate* doivent être divisés en fonction des trois sphères du développement durable : l'économie, l'environnement et la société. De plus, ces critères doivent inclure les principales préoccupations des parties prenantes et être adaptés au contexte local. L'analyse *MCA4climate* consiste en l'évaluation des différentes options proposées à l'aide de 19 critères divisés en sept catégories de préoccupations : le financement public, l'implémentation, les changements climatiques, l'économie, l'environnement, la société et le contexte politique et institutionnel (PNUE, 2011b; CCUNCC, 2011). D'ailleurs, la figure suivante présente chacun de ces critères en fonction de leur catégorie.

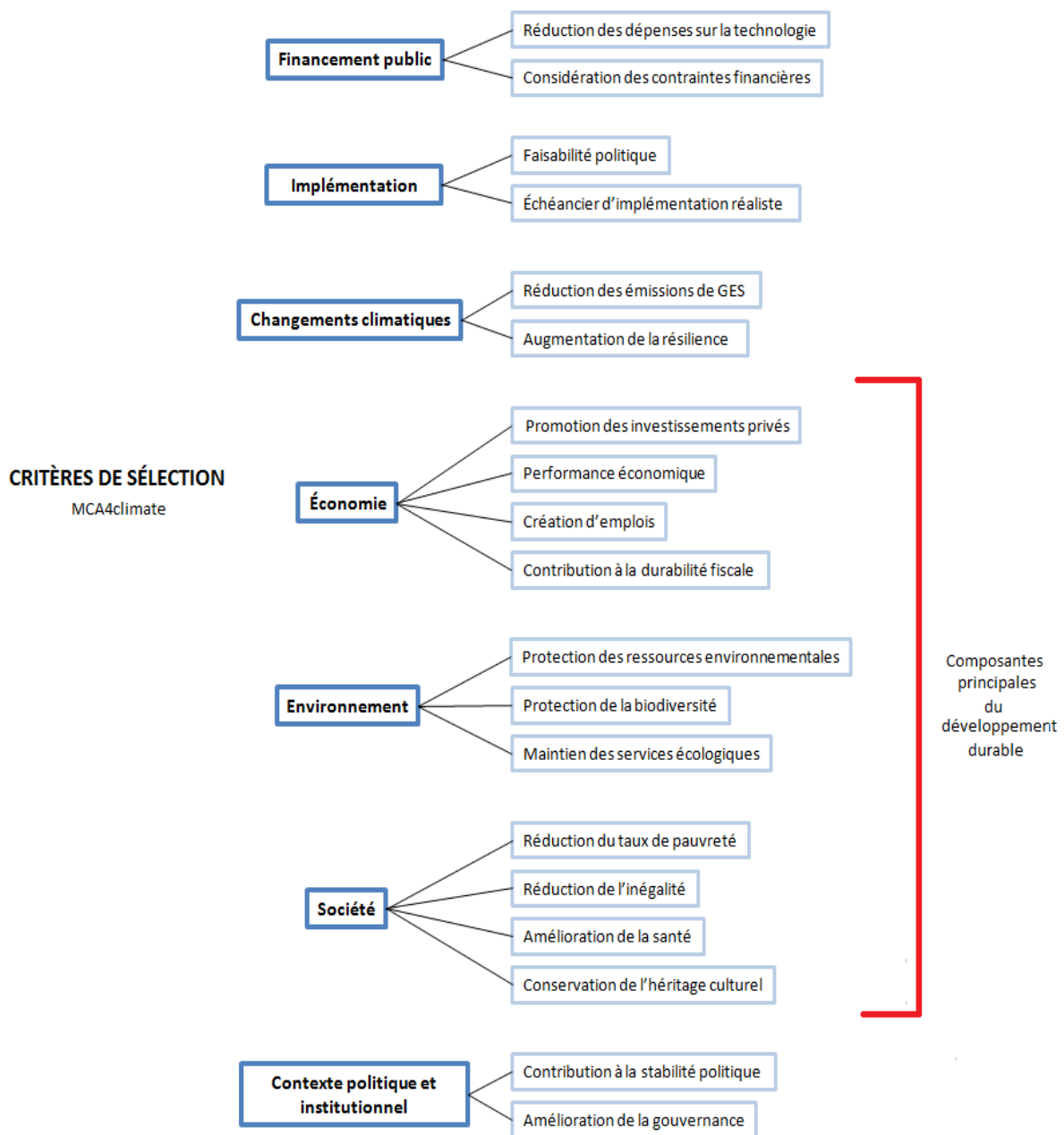


Figure 5.2. Critères d'analyse standards proposés par le modèle *MCA4climate* (inspiré de : PNUE, 2011b, p. 49; CCNUCC, 2011, p. 34).

Les critères proposés par l'approche *MCA4climate* ne doivent pas être considérés comme absolus (PNUE, 2011b). En fait, il est préférable, et même recommandé, de les adapter au contexte local et aux objectifs de la mise en place des mesures de gestion (PNUE, 2011b). La pondération attribuée

ainsi que le choix des critères est basée sur l'ensemble des connaissances présentées dans les chapitres précédents sur les impacts des changements climatiques et les caractéristiques physiques, socioéconomiques et écologiques de la côte est indienne. Normalement, un groupe d'experts discute de chaque critère, détermine leur importance relative et assigne la valeur correspondante (PNUE, 2011b). Par contre, dans le cadre de cet essai, ce processus n'est pas possible. La pondération est donc attribuée au meilleur des connaissances de l'auteur. Les pondérations sont attribuées de la manière suivante :

- 3 : le critère correspond directement à la réduction du niveau de risque ou de l'ampleur des impacts ou garantit la faisabilité de la mesure sélectionnée.
- 2 : le critère contribue, mais n'est pas essentiel pour la réduction du niveau de risque ou de l'ampleur des impacts ou ne garantis pas la faisabilité de la mesure.
- 1 : le critère correspond à des fonctions secondaires des mesures de gestion et contribue peu ou pas à la réduction du niveau de risque ou de l'ampleur des impacts et ne garantit aucunement la faisabilité de la mesure sélectionnée.

Chacun des critères se voit donc attribuer une valeur, d'un à trois, selon son importance pour l'atteinte des objectifs de gestion des risques de désastres naturels et le respect des contraintes socioéconomiques de la côte est de l'Inde. Par exemple, l'augmentation de la résilience socioéconomique et la réduction du degré d'exposition aux aléas naturels, soit les critères sept et huit, se voient attribuer la pondération de trois puisque ceux-ci représentent l'atteinte de l'objectif principal : la réduction des risques associés au passage d'un aléa naturel.

Le tableau suivant présente les critères retenus, leur interprétation dans le cadre de cet essai ainsi que leur pondération pour l'analyse des mesures de gestion.

Tableau 5.1. Interprétation et pondération des critères retenus pour l'analyse des mesures de gestion selon le contexte de la côte est de l'Inde (inspiré de : PNUE, 2011b).

Catégories	Critères	Interprétation	Pondération
Financement public	1) Réduction des dépenses des fonds publics	La mesure de gestion limite l'utilisation des fonds publics pour couvrir les coûts de l'achat ou du développement des technologies ainsi que la construction et le maintien d'infrastructures requises.	3
	2) Réduction des coûts d'implémentation et de suivi	Les coûts associés à l'implémentation et le suivi requis pour maintenir la fonctionnalité de la mesure de gestion mise en place sont minimales.	3
Implémentation	3) Cohérence avec la politique nationale	La mesure de gestion correspond à la <i>Politique nationale sur la gestion des désastres naturels</i> qui réoriente l'approche vers le développement durable et l'intégration des mesures non structurelles.	3
	4) Échéancier d'implémentation préventif	La mesure de gestion peut être mise en place avant l'amplification de l'intensité et de la fréquence des aléas naturels.	2
	5) Fonctionnalité à court terme	La mesure de gestion est fonctionnelle relativement rapidement en prévision de l'amplification des aléas naturels.	2
Changements climatiques	6) Réduction des émissions de GES	La mesure de gestion contribue à la réduction des émissions de GES ou améliorer l'état des puits de carbone.	1
	7) Augmentation de la résilience socioéconomique	La résilience socioéconomique et la capacité d'adaptation de la population locale sont augmentées par la mise en place de la mesure de gestion.	3
	8) Réduction du degré d'exposition aux aléas naturels	La mesure de gestion permet de réduire le degré d'exposition de la population locale aux aléas naturels.	3
Économie	9) Promotion des investissements privés	La mesure de gestion encourage les investissements des entreprises et de la population locale.	1
	10) Amélioration de la performance économique	La mesure de gestion contribue au développement économique de la population locale	2
	11) Création d'emplois	Des opportunités d'emplois pour la population locale émergent avec la mise en place de la mesure de gestion.	2
	12) Contribution à la durabilité fiscale	La mise en place de la mesure contribue à l'établissement d'un équilibre entre les dépenses et le revenu des autorités gouvernementales.	2

Tableau 5.1. Interprétation et pondération des critères retenus pour l'analyse des mesures de gestion selon le contexte de la côte est de l'Inde (inspiré de : PNUE, 2011b) (suite).

Catégories	Critères	Interprétation	Pondération
Environnement	13) Protection des ressources environnementales	La mesure de gestion a un impact positif sur l'état des ressources naturelles et la qualité de l'air, de l'eau et des sols.	2
	14) Protection de la biodiversité	Le maintien ou le rétablissement de la biodiversité est un résultat de la mesure de gestion.	1
	15) Maintien des services écologiques	Tous les services et produits écologiques offerts par les écosystèmes sont maintenus ou améliorés par la mesure de gestion.	3
Société	16) Réduction du taux de pauvreté	La mesure de gestion augmente les revenus et améliore l'accès aux ressources et aux services sociaux.	2
	17) Réduction de l'inégalité	La mesure de gestion contribue à la réduction de la disparité entre les groupes sociaux.	2
	18) Amélioration de la santé	La mesure de gestion réduit l'incidence d'épidémie, améliore l'alimentation de la population locale et maintient la qualité de l'eau potable.	3
	19) Conservation de l'héritage culturel	La mesure de gestion respecte et préserve les terres et les biens d'importance culturelle pour la population locale.	1
Politique	20) Contribution à la stabilité politique	La mesure de gestion contribue à la réduction des conflits politiques et la dépendance sur des ressources étroitement contrôlées par un groupe en particulier.	1
	21) Amélioration de la gouvernance	La mesure de gestion est un pas dans la bonne direction pour l'augmentation de la capacité d'intervention et d'appui des autorités gouvernementales.	3

Ensuite, lors de l'analyse, si l'énoncé du critère s'applique à la mesure de gestion, une note d'un y est assignée. Dans le cas contraire, la mesure reçoit une note de zéro. Ces notes sont ensuite multipliées par la valeur de la pondération de chaque critère pour obtenir une cote propre à chacune des mesures. Ces cotes sont additionnées pour obtenir une cote finale et le rang de chaque mesure de gestion. Les cotes obtenues lors de l'analyse sont divisées en trois catégories selon leur potentiel d'utilisation. Puisque la cote maximale qui puisse être obtenue est de 45, les catégories sont divisées par tranches de 15 :

- de 0 à 15 : faible potentiel d'utilisation
- de 16 à 30 : potentiel d'utilisation moyen
- de 31 à 45 : potentiel d'utilisation élevé

Pour éviter le biais des résultats par l'évaluateur, le schéma de pondération doit être établi avant la réalisation de l'analyse. De cette manière, la pondération est assignée selon l'importance réellement perçue de chaque critère et non en fonction des attentes particulières de l'évaluateur. Les résultats obtenus reflètent ainsi le contexte de la côte est indienne et les objectifs de gestion prioritaires sans prendre en compte les intérêts d'un groupe en particulier.

5.3. Sélection des mesures pour l'analyse

Un total de six mesures de gestion de désastres naturels, présentées dans le chapitre quatre, sont analysées à l'aide des critères susmentionnés (tableau 5.1). Les tableaux 5.2 et 5.3 présentent une synthèse des différentes mesures de gestion sélectionnées, en fonction de l'information contenue dans le chapitre quatre, et justifient leur sélection. De plus, la sélection de ces mesures a été réalisée en considérant les diverses vulnérabilités des populations de la côte est de l'Inde (tableaux 2.1 à 2.4). Parmi les six mesures mises de l'avant, quatre sont écologiques et deux sont structurelles. Ces mesures de gestion sont des exemples de ce qui pourrait être implémenté sur la côte est de l'Inde. Par contre, certains détails dépendent des caractéristiques physiques de la région ainsi que des ressources financières et matérielles des populations locales. Pour implémenter ces mesures dans un cas réel, celles-ci doivent être modifiées et adaptées au contexte particulier de la région. Les mesures présentées dans le tableau suivant ont été élaborées en fonction de l'information mise de l'avant dans le chapitre quatre.

Tableau 5.2. Description des paramètres des mesures de gestion écologiques sélectionnées pour l'analyse.

Mesures de gestion	Description
Restauration de mangroves (section 4.3.3)	<p>Un programme de restauration écologique des mangroves dégradées est entrepris à proximité des zones habitées où la protection des mangroves peut contribuer à la réduction du risque associé au passage d'un aléa naturel.</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'état des mangroves à proximité des zones habitées à risque élevé est évalué. Les mangroves de ces zones formant une bande de moins de 1,5 km d'épaisseur sont sélectionnées pour le programme de restauration. • Une bande protectrice d'un minimum de 1,5 km d'épaisseur est restaurée entre la mer et les bâtiments au long de la zone habitée. • Plusieurs espèces natives de palétuviers sont sélectionnées pour assurer le maintien de la biodiversité régionale. • Les populations locales sont encouragées à participer par l'éducation, la sensibilisation et la formation des groupes à risque. • Les autorités gouvernementales étatiques sont responsables du financement en utilisant les fonds publics ou par l'obtention de fonds offerts par les organisations internationales.
Restauration de dunes (section 4.3.4)	<p>Un programme de restauration écologique des dunes et de la végétation qui y est associée est mis en œuvre où elles se forment naturellement.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les dunes dégradées sont prioritaires. Celles-ci sont régénérées par l'amoncellement de sable à l'aide de machinerie lourde et la plantation de plantes stabilisatrices. • Les dunes restaurées atteignent au moins 4 m de hauteur et s'étendent aussi loin que les caractéristiques géomorphologiques de la côte le permettent. • La végétation restaurée est celle qui se trouve à l'arrière de la dune et qui l'empêche de migrer vers les terres. Des plantations sont installées et protégées par des clôtures. • Les autorités gouvernementales étatiques sont responsables du financement en utilisant les fonds publics ou par l'obtention de fonds offerts par les organisations internationales.

Tableau 5.2. Description des paramètres des mesures de gestion écologiques sélectionnées pour l'analyse (suite).

Mesures de gestion	Description
Modèle triple F (section 4.4.3)	<p>Le modèle triple F consiste non seulement à la protection des populations locales par une bande de mangroves, mais également l'augmentation de la résilience socioéconomique par l'augmentation de la sécurité alimentaire et la création de sources de revenus additionnelles.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les régions les plus affectées par la pauvreté et les problèmes liés à l'alimentation sont prioritaires. • Une bande de mangroves est restaurée ou conservée pour protéger les terres cultivées. • Une série d'amoncellements et de tranchées sont installés par les populations locales avec l'appui technique des organisations internationales, comme le PNUD, et des autorités gouvernementales. • Des arbres fruitiers sont plantés et des légumes sont semés sur les amoncellements. Les tranchées sont empoissonnées et des canards peuvent également y être élevés. • Les organisations internationales et les autorités gouvernementales, étatiques et nationales, sont responsables de l'appui financier pour le développement du projet. Une fois en marche, les populations locales participantes sont responsables de financer le maintien de leurs terres.
Conservation d'estuaires (section 4.3.5)	<p>Un programme de conservation est élaboré dans le but de protéger les estuaires de la côte est de l'Inde ainsi que les nombreux écosystèmes qui s'y trouvent.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tous les estuaires, lagunes et deltas de rivière sont placés sous la protection du gouvernement. Le niveau de protection de chaque écosystème est déterminé par son état, la densité de population et le taux de développement régional. • Un guide de pratiques acceptables est publié par le gouvernement pour clairement identifier les restrictions d'usage et délimiter les zones conservées. • Des formations sont offertes aux membres des populations locales pour les renseigner et leur permettre de bénéficier pleinement du statut de protection de leurs régions. • Pour limiter les dépenses, le gouvernement se doit d'intégrer ce programme dans les fonctions d'un ministère ou département existant. Les fonds publics doivent donc être utilisés pour financer les différentes activités du programme.

Les quatre mesures de gestion écologique retenues sont celles les plus fréquemment utilisées, les plus simples à implémenter ou, dans le cas du Modèle triple F, qui ont présenté des résultats prometteurs (section 4.3.3). La sélection des mesures de gestion écologiques pour l'analyse par les gestionnaires peut également être effectuée à l'aide d'un diagramme comme celui de la figure suivante.

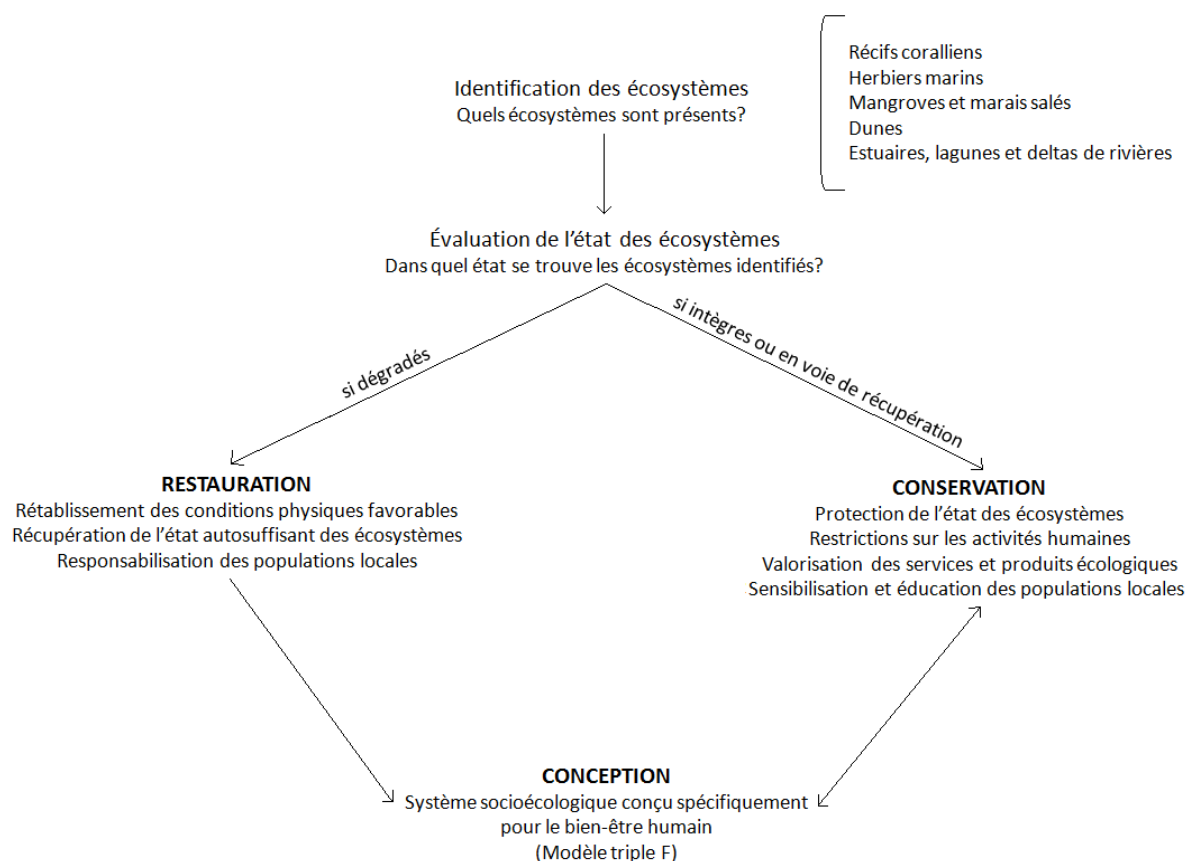


Figure 5.3. Schéma pour la sélection et l'élaboration de mesures de gestion écologiques efficaces.

Les mesures de gestion écologiques ont deux avantages particulièrement importants. Le premier est leur multifonctionnalité. En fait, ce type de mesure protège les populations côtières sur deux fronts : la réduction des impacts directs d'un aléa naturel et l'augmentation de la résilience socioéconomique. Le deuxième est le faible coût. C'est-à-dire, ces mesures requièrent peu d'investissements pour assurer leur mise en œuvre. Un des facteurs les plus importants dans la sélection de n'importe quelle mesure de gestion est la disponibilité du financement. Les coûts des

mesures déterminent généralement leur utilisation, et ce, spécialement dans les pays en voie de développement comme l'Inde (Linham et Nicholls, 2010). Seulement la restauration des dunes peut être considérée comme un processus continu qui engendre des dépenses importantes. La force des vagues peut niveler les dunes et forcer les autorités à répéter les étapes de restauration (Feagin, 2013). Par contre, en général, le faible coût des mesures écologiques les rend facilement accessibles aux populations pauvres et marginalisées. Ce type de mesure contribue également à la réduction de la pauvreté. En fait, en améliorant l'état des écosystèmes et en augmentant les connaissances nécessaires pour l'exploitation durable des ressources naturelles, ces mesures améliorent significativement la qualité de vie des populations environnantes.

Un autre avantage est la capacité des écosystèmes à se réparer et à s'étendre de façon autonome. Cette caractéristique permet de pratiquement éliminer les coûts de maintenance et de suivi. En fait, une fois le processus de restauration écologique complété, les écosystèmes sont capables de se régénérer par eux-mêmes en réponse aux impacts des vagues, des vents violents et des inondations. Par exemple, au Bangladesh, lors du passage d'un cyclone, une étendue de mangroves a subi moins d'un pour cent de perte de couverture et s'est rétablie complètement sans intervention en six mois (Talbot et Wilkinson, 2001). En revanche, environ 500 m de digues, situés au nord, ont été complètement détruits et le gouvernement a été obligé d'investir des millions de \$ US dans les réparations (Talbot et Wilkinson, 2001).

Les mesures de gestion écologiques peuvent également améliorer la gouvernance du territoire. Par exemple, la mise en place du Modèle triple F responsabilise les populations côtières quant à la gestion de leur territoire et de l'environnement sur lequel elles dépendent. Les familles participantes reçoivent une parcelle de terre aménagée et sont responsables du maintien de sa productivité (Islam, 2012). Il est donc plus facile d'intervenir dans le cas de la dégradation des terres agricoles et des écosystèmes qui s'y trouvent par des activités nuisibles.

Par contre, tout n'est pas rose en ce qui a trait à l'utilisation des mesures de gestion écologiques. Le principal désavantage est lié à l'échéancier d'implémentation et, plus spécifiquement, le délai requis pour la fonctionnalité de la mesure. Par exemple, la restauration d'une étendue de mangroves sévèrement dégradée peut prendre plusieurs mois sinon des années à effectuer. Comme le démontre le cas de la gestion communautaire des mangroves de Pichavaram (section

4.3.1), la restauration de quelques centaines d'hectares de mangroves peut prendre plus de six ans de travail sur le terrain. Par la suite, les plantules de palétuviers peuvent prendre de sept à quatorze ans pour atteindre la taille nécessaire pour augmenter significativement le degré de protection (Talbot et Wilkinson, 2001). Au cours de ces années, le passage d'aléas naturels peut continuer de dévaster les côtes et nuire au processus de restauration.

Mis à part la restauration des dunes, les mesures de gestion écologiques ne peuvent atteindre leur pleine fonctionnalité à court terme. Le délai de fonctionnalité dépend généralement de la génération de services et produits écologiques. Les populations locales ne peuvent bénéficier de l'éventail complet des services et produits écologiques tant et aussi longtemps que l'écosystème n'aura pas atteint un niveau de fonctionnement autonome. Par contre, la protection offerte par les dunes est surtout liée à l'amoncellement de sable, une fois cette étape de la restauration franchie, la fonction de protection est récupérée. Par contre, puisqu'une portion des services et produits écologiques des dunes est générée par la végétation qui les colonise, le délai requis pour la pleine fonctionnalité des dunes demeure similaire aux autres mesures de gestion écologiques.

À titre comparatif, des mesures structurelles doivent également être évaluées en fonction des critères d'analyse de cet essai. L'objectif est de comparer l'efficacité des différents types de mesures selon les mêmes critères dans le but d'établir une idée juste du potentiel d'utilisation des mesures de gestion écologiques. En comparant toutes les mesures sous la même perspective, il est possible de réellement apprécier les mérites de chacune des options qui se présentent aux gestionnaires. Tout comme pour les mesures de gestion écologiques, les mesures structurelles présentées sont des généralisations conçues pour la réalisation de l'analyse. Le tableau 5.3 présente les composantes principales des mesures de gestion structurelles sélectionnées en préparation pour l'analyse. Les mesures présentées ont été élaborées en fonction de l'information mise de l'avant dans le chapitre quatre.

Tableau 5.3. Description des paramètres des mesures de gestion structurelles sélectionnées pour l'analyse.

Mesures de gestion	Description
Érection de digues (section 4.1.1)	<p>La construction de digues est amorcée aux endroits à risque d'inondations par les ondes de tempêtes et la hausse du niveau de la mer.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les régions sélectionnées pour la construction de digues sont celles où se trouvent des villes ou villages à l'intérieur d'un rayon de 10 km de la côte avec une élévation de moins de 1 m. • Des digues d'au moins 2 m de hauteur sont construites à partir de matériaux locaux (pierres, sable, ciment et bois). Des ingénieurs et une équipe de travailleurs spécialisés sont responsables de la conception et de la construction. • Des stations de pompage sont installées à des intervalles réguliers au long des digues pour limiter les dégâts en cas de débordements. • Le coût de ce genre de structure peut facilement s'élever à plusieurs millions de dollars US par kilomètre. Les autorités gouvernementales étatiques sont responsables du financement en utilisant les fonds publics ou par l'obtention de fonds offerts par les organisations internationales.
Construction de bassins de stockage d'eau (section 4.1.1)	<p>La construction de bassins de stockage d'eau est amorcée à proximité des estuaires, des lagunes ou des baies où les inondations sont les plus prononcées.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les estuaires, les lagunes ou les baies où les inondations sont fréquentes et causent des dommages importants sont sélectionnés pour la construction de bassins de stockage d'eau. • Des bassins sont excavés à l'aide de machinerie lourde à des points stratégiques où l'eau s'accumule pour éviter l'inondation des zones habitées. La capacité de rétention des bassins est déterminée par les caractéristiques physiques régionales et le niveau de risque d'inondation. • Les autorités gouvernementales sont responsables du financement en utilisant les fonds publics.

L'érection de digues et la construction de bassins de stockage d'eau sont deux mesures de gestion structurelles couramment utilisées partout à travers le monde (section 4.1.1). Ce sont des installations relativement simple et efficace pour mitiger les impacts des aléas naturels et protéger la zone côtière.

L'avantage principal de ce type de mesure est le court délai d'implémentation et d'atteinte de la fonctionnalité. Aussitôt installés, les digues et les bassins de stockage d'eau sont fonctionnels et réduisent considérablement les risques de désastres naturels. Tout dépendant de l'accessibilité à la main-d'œuvre qualifiée et aux matériaux de construction requis, la mise en place de ce type de mesure peut être effectuée relativement rapidement. De plus, puisque ce type de mesure est conçu spécifiquement pour réduire le taux d'exposition aux aléas naturels et protéger les populations côtières, son efficacité est pratiquement garantie.

En termes de développement durable, plusieurs lacunes des mesures de gestion structurelles ternissent leur utilisation. Les mesures structurelles n'offrent aucun avantage en ce qui concerne l'environnement ou la société. En fait, dans certains cas, la construction de bassins de stockage d'eau peut améliorer la santé des populations environnantes en contribuant à l'amélioration de la qualité de l'eau (Jha et autres, 2012). Par contre, en général, ce type de mesure a une seule et unique fonction : la réduction des impacts des aléas naturels.

La mise en place de ce type de mesure peut créer des emplois, par contre, la complexité de leur conception et de leur construction exige l'embauche de travailleurs qualifiés (Linham et Nicholls, 2010). Les emplois créés ne sont donc pas disponibles pour l'ensemble de la population. De plus, ces emplois sont temporaires et ne garantissent aucunement la réduction du taux de pauvreté. De plus, les dépenses pour la main-d'œuvre spécialisée, l'équipement, la machinerie lourde et les matériaux de construction s'accumulent et rendent ce genre de mesure pratiquement inaccessible aux régions moins développées.

En ce qui concerne l'environnement, ce genre de mesure peut causer de nombreux problèmes importants. La mise en place de mesures structurelles implique inévitablement le déplacement ou la destruction des écosystèmes (Linham et Nicholls, 2010). Par exemple, la construction de digues sur la côte peut mener à la dégradation des plages ou la destruction des mangroves qui s'y trouvent. De plus, les digues ainsi que les bassins de stockage d'eau peuvent perturbés les

processus naturels de sédimentation ou modifier les habitats essentiels au maintien de la biodiversité (Linham et Nicholls, 2010). Autrement dit, même si aucun écosystème n'est détruit lors de la construction, la perturbation du milieu naturel peut entraîner des impacts négatifs sur la qualité de l'environnement.

5.4. Grille d'analyse

Le tableau suivant présente la grille d'analyse qui permet d'évaluer et comparer les mesures de gestion sélectionnées selon l'approche adaptée de *MCA4climate*.

Tableau 5.4. Évaluation des mesures de gestion des risques de désastres naturels en fonction des critères pondérés du tableau 5.1 (0 = ne correspond pas à l'énoncé du critère; 1 = correspond à l'énoncé du critère).

Catégorie	Critère	Pondération	Restauration de mangroves	Restauration de dunes	Érection de digues	Modèle triple F	Conservation d'estuaires	Construction de bassins de stockage d'eau
Financement public	1) Réduction des dépenses des fonds publics	3	1	0	0	1	1	0
	2) Réduction des coûts d'implémentation et de suivi	3	1	0	0	0	0	0
	Cote		6	0	0	3	3	0
Implémentation	3) Cohérence avec la Politique nationale	3	1	1	0	1	1	0
	4) Échéancier d'implémentation préventif	2	1	1	1	1	1	1
	5) Fonctionnalité à court terme	2	0	1	1	0	0	1
	Cote		5	7	4	5	5	4
Changements climatiques	6) Réduction des émissions de GES	1	1	0	0	1	1	0
	7) Augmentation de la résilience socioéconomique	3	1	1	0	1	1	0
	8) Réduction du degré d'exposition aux aléas naturels	3	1	1	1	1	1	1
	Cote		7	6	3	7	7	3
Économie	9) Promotion des investissements privés	1	0	0	0	1	0	0
	10) Amélioration de la performance économique	2	0	0	0	1	0	0
	11) Création d'emplois	2	1	1	1	0	0	1

Tableau 5.4. Évaluation des mesures de gestion des risques de désastres naturels en fonction des critères pondérés du tableau 5.1 (0 = ne correspond pas à l'énoncé du critère; 1 = correspond à l'énoncé du critère) (suite).

Catégorie	Critère	Pondération	Restauration de mangroves	Restauration de dunes	Érection de digues	Modèle triple F	Conservation des estuaires	Construction de bassins de stockage d'eau
Économie	12) Contribution à la durabilité fiscale	2	1	0	0	1	1	0
	Cote		4	2	2	5	2	2
Environnement	13) Protection des ressources environnementales	2	1	1	0	1	1	0
	14) Protection de la biodiversité	1	1	1	0	1	1	0
	15) Maintien des services écologiques	3	1	1	0	1	1	0
	Cote		6	6	0	6	6	0
Société	16) Réduction du taux de pauvreté	2	1	0	0	1	0	0
	17) Réduction de l'inégalité	2	0	0	0	1	0	0
	18) Amélioration de la santé	3	1	0	0	1	1	1
	19) Conservation de l'héritage culturel	1	1	0	0	1	1	0
	Cote		6	0	0	7	4	3
Politique	20) Contribution à la stabilité politique	1	0	0	0	0	0	0
	21) Amélioration de la gouvernance	3	0	0	0	1	1	0
	Cote		0	0	0	3	3	0
COTE FINALE			34	22	9	36	30	12

La grille d'analyse permet de constater que les mesures de gestion écologiques ont reçu les cotes finales les plus élevées, ce qui confirme non seulement que celles-ci sont généralement plus cohérentes avec les principes du développement durable, mais qu'elles ont un potentiel d'utilisation plus élevé. Plus spécifiquement, les mesures qui mènent le peloton sont le Modèle triple F et la restauration de mangroves avec des cotes de 36 et 32, respectivement. Il est donc possible d'en conclure que ces deux mesures de gestion écologiques sont à favoriser dans l'application des principes du développement durable pour la gestion des risques de désastres naturels. Le tableau suivant présente les cotes finales obtenues par chacune des mesures de gestion ainsi que leur potentiel d'utilisation selon l'échelle dans la section 5.2.

Tableau 5.5. Cotes finales des mesures de gestion et leur potentiel d'utilisation.

Mesures de gestion	Cote finale	Potentiel d'utilisation
Modèle triple F	36	Élevé
Restauration de mangroves	34	Élevé
Conservation d'estuaires	30	Moyen
Restauration de dunes	22	Moyen
Construction de bassins de stockage d'eau	12	Faible
Érection de digues	9	Faible

Le second rang de la restauration de mangroves n'est pas surprenant considérant sa popularité actuelle. Comme mentionnée dans la section 4.2.3, la restauration de mangroves est la mesure privilégiée par la grande majorité des populations côtières de pays en voie de développement (ONUSIPC et PNUD, 2012). Le Modèle triple F, quant à lui, se trouve au sommet des options principalement en raison des avantages financiers pour les populations locales. Cette mesure est en fait une combinaison de la restauration de mangroves et de la modification de la zone intertidale pour la mise en place d'un système d'agriculture durable. Comme le démontre la section 4.3.3, l'objectif principal du Modèle triple F est l'augmentation de la sécurité alimentaire des communautés défavorisées, mais la portée des résultats est beaucoup plus large. Une approche diversifiée permet l'obtention de résultats forts supérieurs à ceux de la restauration de mangroves à elle seule. Le seul désavantage de cette mesure de gestion est l'obtention du financement initial. Des organisations internationales se chargent actuellement du démarrage du projet, mais cette opportunité de financement n'est pas permanente. La dépense des fonds

publics ou des investissements privés doivent être envisagés pour assurer la mise en place de ce genre de mesure dans le futur.

Comme le démontre le tableau 5.5, les mesures de gestion structurelles se trouvent au bas de l'échelle et sont placées dans la catégorie de faible potentiel d'utilisation. Par contre, la restauration des dunes n'est pas très loin devant ces mesures. Il semble que plusieurs des lacunes des mesures structurelles sont partagées avec la restauration de dunes. Comme le démontre le graphique de la figure suivante, la performance de la restauration de dunes est similaire à celle de l'érection de digues et de la construction de bassins de stockage d'eau. La figure 5.4 permet de visualiser les résultats obtenus graphiquement en fonction des catégories de critères du tableau 5.4.

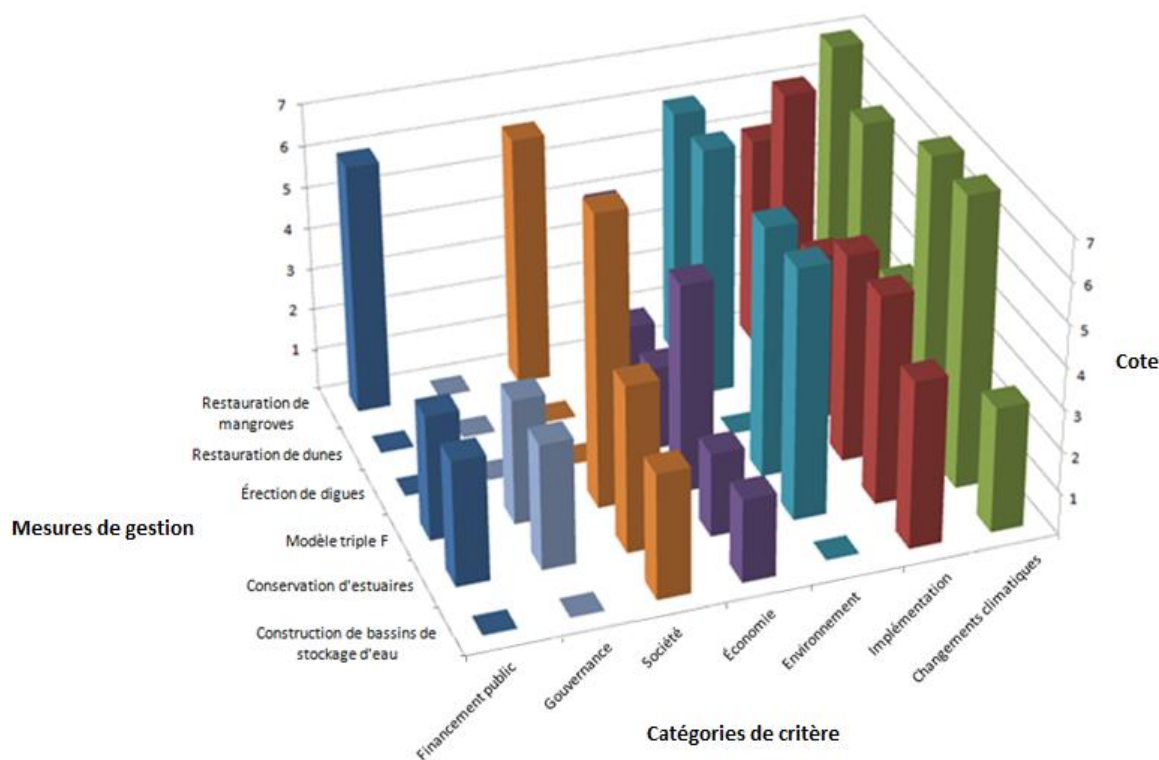


Figure 5.4. Représentation graphique des résultats de l'analyse par catégorie de critères (en ordre croissant de leur performance).

Le graphique de la figure 5.4 met à l'évidence le fait que les deux mesures de gestion structurelles et la restauration de dunes sont celles qui ont reçu le plus de cotes de zéro lors de l'analyse. En

fait, la restauration des dunes se démarque seulement par sa cote environnementale élevée. Par contre, cette option peut être modifiée de manière à permettre sa réalisation et pallier ses lacunes. Par exemple, au lieu de reconstruire la structure de la dune, les efforts de restauration peuvent être concentrés sur la régénération de sa couverture végétale (Arulmoorthy et Srinivasan, 2013).

Comme mentionnée dans la section 3.2.4, la végétation joue un rôle crucial dans la formation des dunes. Dans le cas du projet de restauration entrepris par Arulmoorthy et Srinivasan (2013), la restauration de la végétation a été effectuée dans le but de favoriser la reconstruction naturelle de la dune par la stabilisation du sol et la formation d'une barrière végétale pour l'accumulation du sable. Cette méthode élimine les coûts de la machinerie lourde, de la main-d'œuvre spécialisée et du transport du sable. Par contre, comme dans le cas de la majorité des mesures de gestion écologiques, le délai requis pour l'atteinte de la pleine fonctionnalité de l'écosystème peut être long. Dans le cas d'une région en voie de développement, comme la côte est de l'Inde, ce compromis peut être acceptable et permettre l'utilisation des dunes pour la protection de la côte. La modification de l'approche à la restauration de dunes permet de lui attribuer un total de quatre points de plus à sa cote finale : critère 1 (3) + critère 2 (3) - critère 5 (2). Par contre, même avec cette augmentation, la restauration de dunes demeure en quatrième position derrière toutes les autres mesures écologiques.

Malgré l'efficacité des mesures de gestion structurelles, en ce qui concerne le niveau de protection offert, il semble que celles-ci ne sont pas en accord avec la plupart des principes du développement durable. En fait, les deux mesures structurelles ont reçu des cotes de zéro dans au moins une des catégories qui représentent les composantes du développement durable : société, économie et environnement. Leur utilisation comme unique protection de la zone côtière ne peut être justifiée dans le cadre d'une approche holistique comme celle encouragée par la *Politique nationale sur la gestion des désastres naturels* du gouvernement indien. En fait, leur utilisation ne doit pas être écartée complètement, mais l'approche doit être réorientée vers la juxtaposition. La combinaison de mesures structurelles pour la protection immédiate, ou à court terme, et de mesures écologiques pour une couche de protection multifonctionnelle est fort probablement la meilleure option. De cette manière, les lacunes d'un type de mesure sont compensées par les mérites de l'autre.

CHAPTITRE 6. RECOMMANDATIONS

Les aléas qui frappent annuellement la côte est de l'Inde sont dévastateurs et causent le décès de plusieurs milliers de personnes et la perte de milliards de \$ US. Si la tendance vers l'intensification de la fréquence et de l'intensité des aléas naturels persiste, il est clair que le développement économique et social de la région est en péril. Les autorités, tout comme les populations à risque, doivent donc, en quelque sorte, préparer leurs armures avant d'aller à la guerre et affronter l'inévitable.

Dans le but d'optimiser la réduction des impacts associés aux désastres naturels, le processus de gestion entrepris par les autorités gouvernementales doit prendre en compte certains éléments cruciaux. Les recommandations qui suivent mettent de l'avant ces éléments dans le but d'orienter les efforts du gouvernement indien et encourager la prise en charge active de la gestion des désastres naturels dans les états de la côte est. Ces recommandations visent principalement les autorités responsables de l'encadrement de la gestion des risques de désastres naturels. L'objectif principal des recommandations est de faciliter et garantir le démarrage du processus d'implémentation d'un éventail diversifié de mesures de gestion efficaces et multifonctionnelles. Le tableau suivant synthétise les cinq recommandations principales formulées. Par la suite, les sections 6.1 à 6.5 présentent ces recommandations de façon détaillée.

Tableau 6.1. Synthèse des cinq principales recommandations sur la gestion des risques de désastres naturels sur la côte est de l'Inde.

Recommandation	Préoccupation	Description
1a) Implémenter immédiatement des mesures de gestion écologiques.	Intensification progressive des aléas naturels causée par les changements climatiques. (section 1.1)	Puisque la pleine fonctionnalité des mesures de gestion écologiques est atteinte à moyen ou à long terme, ce type de mesure doit absolument être implémenté dans les plus brefs délais.
1b) Continuer et intensifier la recherche sur la gamme complète des bénéfices des écosystèmes.	Manque de connaissances scientifiques sur les services et produits écologiques. (section 3.1)	L'évaluation complète de l'éventail des services et produits générés par les écosystèmes facilite leur intégration des mesures de gestion écologiques dans les politiques régionales et nationales.
1c) Combiner les différents types de mesures de gestion (écologiques, structurelles et autres).	Combinaison de plusieurs facteurs qui contribuent au risque de désastres naturels. (sections 1.1 et 2.1 à 2.4)	L'efficacité des mesures de gestion est fortement améliorée par la combinaison des différents types de mesures pour pallier divers facteurs qui augmentent le risque de désastres naturels.
2) Restreindre l'utilisation des mesures de gestion structurelles comme source principale de protection.	Implémentation excessive de mesures qui nuisent au développement durable. (section 4.1.1)	L'utilisation des mesures de gestion structurelles doit être limitée ou contrôlée pour éviter de nuire aux processus naturels et la qualité de l'environnement.
3) Assurer le renforcement de la <i>Politique nationale sur la gestion des désastres naturels</i> .	Application des principes du développement durable dans la gestion des risques associés aux désastres naturels à l'échelle nationale. (section 2.4)	Le gouvernement de l'Inde doit renforcer sa politique nationale et mettre en place des directives claires et concises pour appuyer les autorités étatiques dans l'élaboration de leur plan d'action et l'implémentation de mesures de gestion.

6.1. Implémentation immédiate de mesures de gestion écologiques

Tout d'abord, l'élaboration d'un plan de gestion et la mise en œuvre des diverses mesures qui y sont incluses doivent absolument être prévues dans les plus brefs délais. Comme le démontre le premier chapitre, même dans le scénario le plus optimiste, les impacts des changements climatiques sont importants (section 1.1). À l'exception du scénario RCP2.6, toutes les projections climatiques publiées par le GIEC démontrent que le futur nous réserve des modifications drastiques au système climatique planétaire (GIEC, 2007a; GIEC, 2014a). Malgré un certain degré d'incertitude en ce qui concerne la complexité de l'interaction entre quelques-uns des facteurs qui

modulent le climat, il est fort probable que les désastres occasionnés par le passage d'aléas naturels augmentent proportionnellement avec la température (tableau 1.3).

Pour être en mesure de prévenir, protéger ou mitiger les impacts des aléas naturels, les autorités gouvernementales doivent accélérer l'échéancier de la mise en place de mesures de gestion efficaces. Que ce soit des mesures écologiques ou structurelles, un certain délai doit être prévu pour atteindre leur pleine fonctionnalité. Les mesures de gestion structurelles peuvent être mises en place relativement rapidement, par contre, l'implémentation de mesures de gestion écologiques peut s'étendre sur plusieurs années. Par exemple, la restauration de mangroves, de la préparation du sol jusqu'à l'atteinte de la maturité des palétuviers, peut durer de sept à quatorze ans (Talbot et Wilkinson, 2001). Puisque l'analyse présentée dans le chapitre cinq démontre clairement que les mesures de gestion écologiques constituent les meilleures options selon les principes du développement durable (tableau 5.4), les autorités gouvernementales doivent amorcer les travaux dès maintenant. De plus, l'amplification de l'intensité et de la fréquence des aléas emmenés par les changements climatiques peut nuire aux efforts d'implémentation dans le futur. Par exemple, une étendue de mangroves en voie de restauration peut être anéantie par le passage de cyclones et forcer les gestionnaires à redémarrer le projet.

Les gestionnaires et autorités responsables doivent également considérer le fait que le manque de mesures de gestion efficaces à long terme peut limiter leur capacité de prévenir un désastre naturel. En fait, l'absence de mesures préventives peut éventuellement forcer la réorientation de leur approche et leurs investissements vers la réaction aux dégâts et l'obtention de résultats à court terme. La mise en place immédiate de mesures de gestion écologiques permet de maintenir le cap vers la prévention et assurer la réduction des impacts croissants des changements climatiques et des aléas qu'ils entraînent.

Les pays en voie de développement ont accès à différents fonds de financement internationaux pour leur permettre de réaliser leurs projets d'adaptation aux changements climatiques et réduction des risques de désastres naturels. Par exemple, le GEF et la CCNUCC avaient amassé collectivement environ 275 millions de dollars US, en 2007, pour appuyer les pays en voie de développement (*ProAct Network*, 2008). Les autorités de l'Inde peuvent donc recourir au

financement international dans le cas où les fonds publics sont insuffisants pour l'implémentation des mesures de gestion prévues.

6.2. Intensifier la recherche sur les services et produits écologiques

L'absence de données scientifiques met en péril le succès des projets écologiques et compromet le maintien de l'intégrité des écosystèmes (ÉÉM, 2005; Tallis et autres, 2008). L'état des connaissances actuel permet de proposer et même d'encourager l'utilisation de mesures de gestion écologiques dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques et la protection contre les aléas naturels. Par contre, l'approfondissement de la compréhension des dynamiques écologiques peut mener à l'élaboration de mesures plus performantes et permettre aux populations humaines de bénéficier encore plus des divers services et produits écologiques à leur disposition.

De plus, la méthodologie employée pour traduire l'information scientifique en bénéfices économiques doit être bonifiée de manière à inclure les services et produits écologiques indirects. La majorité des évaluations économiques sur les écosystèmes emploient une définition restreinte du bénéfice potentiel d'un écosystème et mettent de côté certains aspects clés comme, par exemple, la contribution à la prévention à long terme (Emerton, 2006). Puisque ces évaluations sont souvent utilisées par les gestionnaires pour justifier la réalisation ou l'abandon de projets, il est important que toute l'information nécessaire à la compréhension de la situation leur soit accessible. L'évaluation complète des écosystèmes facilite leur intégration dans les politiques régionales et nationales. Les politiciens et autorités sont en mesure de quantifier et évaluer pleinement les bénéfices des écosystèmes et les impacts subis par leur perte.

La majorité des processus d'évaluation ne considère pas les bénéfices à long terme. L'évaluation est plutôt effectuée sur une échelle de trois à cinq ans, ce qui limite la capacité d'intégrer certains, sinon la plupart, des bénéfices indirects (Talbot et Wilkinson, 2001). Par exemple, les activités d'exploitation de certains écosystèmes côtiers, comme les récifs coralliens ou les mangroves, doivent prendre en compte des cycles de régénération qui varient de 20 à 30 ans (Talbot et Wilkinson, 2001). L'approche de gestion doit donc être bonifiée de manière à prendre compte de la durée des cycles naturels des écosystèmes (Feagin et autres, 2010).

Lorsqu'il est question de l'utilisation ou de la dégradation potentielle des écosystèmes, l'approche de gestion doit y être adaptée. La recherche et le développement dans le domaine de l'écologie appliquée doivent être orientés de manière à appuyer le travail des gestionnaires. Les domaines de la science et de la gestion doivent s'unir pour favoriser le développement durable de la société. Par exemple, suite au recensement du territoire, le choix des écosystèmes à utiliser ou des mesures à implémenter peut être effectué à l'aide du diagramme de la figure 5.3. Surtout dans le cas de la côte est de l'Inde, où les populations locales dépendent de leurs écosystèmes pour une panoplie de services et produits essentiels, les autorités responsables doivent être pleinement informées et préparées pour la prise de décision.

6.3. Combinaison de différents types de mesures de gestion

Malgré les résultats présentés dans le chapitre précédent, il n'en demeure pas moins que la diversification des mesures de gestion mises en place est une voie préférable (GIEC, 2014d). Les différents types de mesures peuvent se compléter et augmenter le degré de protection offert aux populations côtières à risque. Il est important de noter que le succès de l'utilisation des écosystèmes comme mesure de prévention, protection ou mitigation n'est pas garanti. En fait, la mise en valeur des écosystèmes comme unique solution peut engendrer un faux sentiment de sécurité qui pourrait mettre en péril la vie des populations à risque (NIDM, 2012). Par exemple, les mangroves sont efficaces pour la protection contre les ondes de tempêtes, mais dans le cas de cyclones intenses, de catégorie 4 ou 5, il est fort probable que les mangroves ne soient pas suffisantes pour protéger complètement les populations locales.

L'utilisation d'un seul écosystème côtier est souvent insuffisante pour atteindre le niveau de protection souhaité. La mesure de gestion des risques de désastres naturels la plus efficace doit intégrer le concept du continuum de protection (NIDM, 2012). La protection combinée des récifs coralliens, herbiers marins et mangroves est beaucoup plus élevée que n'importe lequel de ces écosystèmes individuellement. Un plan de gestion qui favorise l'utilisation des écosystèmes doit prendre en considération cet effet combiné et l'importance de chacun des écosystèmes faisant partie de la zone côtière. Comme le démontrent les résultats de l'analyse, le Modèle triple F, qui applique une approche diversifiée, performe mieux que la restauration de mangroves (tableau

5.5). La combinaison de différents écosystèmes ou de types de mesures de gestion est efficace pour compenser les lacunes et augmenter l'ampleur des résultats positifs.

Par contre, les options de mesures de gestion doivent être bien évaluées en considérant les divers compromis (ÉÉM, 2005). Par exemple, la préservation d'un marais salé contre la conversion en terres agricoles pour alimenter une population en croissance. Les autorités responsables doivent peser le pour et le contre et modifier ou abandonner les mesures qui font plus de mal que de bien. Par exemple, la conservation d'une étendue de mangroves pour la protection de la côte peut limiter l'accès aux ressources essentielles au maintien de la qualité de vie des populations locales comme, par exemple, la nourriture, le bois de chauffage ou certains produits pharmaceutiques. La conservation de ces mangroves peut contribuer à la réduction du degré d'exposition aux aléas naturels, mais peut également entraîner la réduction de la résilience socioéconomique des populations locales. Les gestionnaires doivent donc viser l'établissement d'un équilibre cohérent avec le développement durable et considérer toutes les sphères de la problématique. En fait, la combinaison de différents types de mesures de gestion peut être une solution efficace pour l'atteinte de cet équilibre. Pour ce faire, un système de gestion intégrée de la zone côtière, semblable à celui du Modèle triple F, doit être établie de sorte à augmenter la capacité d'adaptation des populations locales ainsi que d'améliorer la gouvernance du territoire par les autorités responsables (*Global Change System for Analysis, Research and Training (START)*, 2014).

Il est également important de jumeler les mesures écologiques aux systèmes d'alerte, aux mesures de préparation logistique et, si possible, à des mesures structurelles capables de compléter les fonctions des écosystèmes (NIDM, 2012; ONUSIPC-PNUD, 2012). La combinaison de différents types de mesures de gestion peut significativement réduire le niveau de risque. Par exemple, au Bangladesh, suite à l'implémentation de plans d'évacuation et de systèmes d'alerte pour pallier les mesures de gestion écologiques et structurelles, plusieurs millions de personnes ont pu être protégées des cyclones et des inondations (Feagin et autres, 2010). La diversification des mesures de gestion peut compliquer la tâche des gestionnaires, mais contribue à la réduction du risque en diminuant la dépendance sur une mesure en particulier. Le même principe que le continuum de protection s'applique dans ce cas. Si la première couche de protection s'affaiblit ou est rendue inefficace, les couches qui suivent prennent la relève et assurent la protection des populations humaines. Par exemple, des étendues de mangroves ont été restaurées, au Vietnam, entre la côte

et les digues construites pour protéger les digues et augmenter le niveau de protection de la côte (Marchand et autres, 2012).

6.4. Restriction de l'utilisation des mesures de gestion structurelles

Bien que la juxtaposition de mesures de gestion structurelles aux mesures de gestion écologiques puisse augmenter le niveau de protection, leur utilisation devrait être minimisée. L'importance des coûts d'implémentation et de suivi gruge le budget des autorités gouvernementales et limite la diversification des mesures de gestion. Les gouvernements des états du Tamil Nadu, d'Andhra Pradesh et d'Odisha n'ont probablement pas les ressources financières nécessaires pour garantir la protection de tous leurs citoyens par la construction de mesures structurelles. De plus, le gouvernement fédéral ne peut prendre en charge le financement de la gestion des désastres naturels dans son ensemble. La réduction des dépenses des fonds publics est un des facteurs les plus importants pour la mise en œuvre d'une mesure de gestion. L'utilisation de mesures structurelles peut être un mal nécessaire, mais seulement dans le cas où le niveau de protection offert par les écosystèmes est jugé insuffisant. En fait, les mesures structurelles devraient être considérées comme un dernier recours par les gestionnaires.

De plus, d'un point de vue environnemental, les mesures structurelles peuvent être nuisibles (Linham et Nicholls, 2010). En fait, comme mentionnée dans la section 5.4.2, la mise en place de mesures de gestion structurelles peut mener à la dégradation, ou carrément la destruction, des écosystèmes ainsi que la modification des processus naturels côtiers. L'implémentation de ce type de mesure, lorsque nécessaire, doit donc être planifiée avec le plus grand soin et requiert un processus d'évaluation environnementale extensif.

6.5. Renforcement de la *Politique nationale sur la gestion des désastres naturels*

Puisque le gouvernement fédéral indien a déjà mis de l'avant sa politique sur la gestion des désastres naturels, les plans de gestion élaborés ainsi que les mesures sélectionnées doivent coïncider avec la vision qui y est présentée. Depuis la publication de cette politique, peu de progrès a pu être observé sur le terrain et, pour cette raison, le gouvernement fédéral doit redoubler les efforts pour assurer l'adhésion des autorités étatiques (section 2.4) (Kumar et Walia, 2013). La politique nationale est cohérente avec les principes du développement durable et prône

une approche préventive plutôt que réactive (Inde, 2009). Tous les éléments sont mis en place pour grandement améliorer la gestion des désastres naturels en Inde, mais le respect de la politique doit être exigé et renforcé par le gouvernement fédéral.

La Division nationale sur la gestion des désastres naturels et l'Autorité nationale de gestion des désastres naturels doivent s'assurer du respect de la politique par les autorités étatiques. De plus, le gouvernement pourrait procéder à la présentation de projets de lois qui contraignent tous les états indiens, et particulièrement ceux à risque élevé, à former une agence pour la gestion des désastres naturels et l'élaboration de plans d'action. Avec l'intervention des agences fédérales et l'obligation légale, les états devront inévitablement gérer les risques de désastres naturels et respecter la vision de la politique nationale.

Pour les appuyer dans ces démarches, les gestionnaires étatiques peuvent employer la méthode d'analyse des mesures de gestion proposée dans cet essai (section 5.3). En fait, l'analyse multicritère *MCA4climate* facilite la hiérarchisation des mesures potentielles et permet aux gestionnaires d'évaluer les voies envisagées. L'analyse effectuée dans le cadre de cet essai est basée surtout sur des connaissances théoriques. La réalisation de l'analyse de mesures de gestion concrètes par des gestionnaires locaux pourrait permettre aux gouvernements étatiques de mettre en œuvre le plan d'action le mieux adapté à la réalité du terrain.

Le Cadre d'action de Hyogo, développé suite à la révision de la Stratégie de Yokohama, peut également être un point de référence pour la mise en place d'un système de gestion efficace des risques de désastres naturels dans la zone côtière. Puisque la *Politique nationale sur la gestion des désastres naturels* de l'Inde est basée sur cette stratégie, il va de soi que son développement peut se baser sur le Cadre d'action de Hyogo (section 2.4). Les pays à risque, comme l'Inde, doivent appliquer les principes inscrits au cadre et suivre ses recommandations pour augmenter la résilience des populations aux risques de désastres naturels (ONUSIPC, 2007).

CONCLUSION

L'objectif de cet essai était d'évaluer le potentiel des écosystèmes côtiers dans la prévention, protection et mitigation des impacts d'un aléa naturel et leur intégration dans un plan de gestion des risques de désastres naturels sur la côte est de l'Inde. Pour être en mesure d'atteindre cet objectif, cinq sous-objectifs ont été identifiés et atteints par la rédaction de chacun des chapitres de l'essai : identifier les changements climatiques et les désastres naturels qui sont associés à la région côtière, identifier les différents écosystèmes présents, identifier les bénéfices et services environnementaux potentiels des écosystèmes tout en établissant clairement les liens avec la prévention, protection et mitigation des impacts d'un éventuel désastre naturel, identifier des mesures de mitigation écologiques et documenter leur efficacité, élaborer des recommandations quant à l'intégration des écosystèmes dans les plans de gestion des risques de désastres naturels.

Tout d'abord, les impacts des changements climatiques ont été clairement identifiés et décrits dans le premier chapitre. La description de ces impacts est axée sur la zone côtière en général, mais permet tout de même l'identification de la côte est de l'Inde comme une des régions avec le niveau de risque le plus élevé à l'échelle planétaire. Par la suite, une évaluation complète de la vulnérabilité du lieu d'étude a été effectuée. Le fait d'établir le degré de vulnérabilité de la côte est indienne, dans le deuxième chapitre, a permis de déceler les différents facteurs qui influencent son niveau de risque et d'identifier des mesures de gestion appropriées.

Ensuite, plutôt que d'identifier tous les écosystèmes de la zone côtière, l'emphase a été placée sur ceux ayant un rôle à jouer dans la prévention, la protection ou la mitigation de désastres naturels. Dans l'ensemble, huit écosystèmes divisés en cinq catégories ont été décrits en fonction de leurs diverses contributions. De cette manière, le troisième chapitre a permis de mettre à l'évidence le rôle des écosystèmes et des services et produits écologiques qui déterminent leur potentiel d'utilisation dans la gestion des risques de désastres naturels.

Par la suite, le chapitre quatre a permis d'identifier les types de mesures de gestion couramment employées. L'ensemble de l'information recueillie a mené à la sélection des six mesures de gestion analysées dans le cinquième chapitre et à l'obtention des résultats nécessaires pour l'atteinte de l'objectif principal. En fait, l'analyse des six mesures de gestion, incluant quatre mesures écologiques, a permis de quantifier le potentiel des écosystèmes côtiers en fonction de 21 critères,

dont 11 directement liés aux principes du développement durable. L'analyse démontre que malgré certaines lacunes, en ce qui concerne surtout les délais de fonctionnalité, le type de mesure qui se base sur l'utilisation des écosystèmes côtiers se démarque. L'utilisation de mesures de gestion écologiques, comme la restauration de mangroves ou la mise en place du Modèle triple F, peut être une option viable pour la côte est de l'Inde et permettre au gouvernement indien de respecter les exigences de sa politique nationale.

Finalement, une série de cinq recommandations a pu être élaborée en s'appuyant sur les résultats de l'analyse ainsi que l'établissement d'un état des connaissances exhaustif : implémenter immédiatement des mesures de gestion écologiques vu les délais requis pour leur pleine fonctionnalité, intensifier la recherche sur les services et produits écologiques afin de mieux informer les autorités responsables, combiner différents types de mesures de gestion pour créer une synergie positive pour augmenter la performance, restreindre l'utilisation de mesures de gestion structurelles en raison de leurs lacunes sur le plan du développement durable, renforcer la *Politique nationale sur la gestion des désastres naturels* du gouvernement fédéral indien pour encadrer, suivre et supporter les efforts des autorités responsables des régions à risque élevé.

Malgré l'accès restreint à certaines informations clés et le fait que l'analyse a été effectuée par un seul évaluateur, chacun des objectifs établis préalablement a pu être atteint. Les difficultés rencontrées mettent à l'évidence la nécessité d'effectuer ce genre de travail en équipes multidisciplinaires avec plein accès à l'information directement sur le terrain. Les résultats obtenus et les recommandations formulées sont donc à être considérés comme préliminaires, mais la réalisation de ce genre d'étude par les autorités responsables amènerait plus de profondeur et optimiserait les pratiques de gestion des écosystèmes et de l'adaptation aux changements climatiques.

Cet essai peut servir d'outil pour l'orientation de l'approche pratique des gestionnaires en plus de confirmer l'utilité de la méthodologie de l'analyse multicritère *MCA4climate* dans l'identification des meilleures options pour la gestion des risques associés aux désastres naturels. Il est important de maintenir la tendance vers le développement durable, comme l'indique la *Politique nationale sur la gestion des désastres naturels* du gouvernement fédéral de l'Inde, et la réalisation de ce genre de travail sert de guide et d'appui à son application.

RÉFÉRENCES

- Arulmoorthy, M. P. et Srinivasan, M. (2013). Restoratio of Sand Dune Vegetation from Cuddalore Area, Southeast Coast of India. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, vol. 3, n° 4. http://www.ijpbs.com/ijpbsadmin/upload/ijpbs_52e34f50e7176.pdf (Page consultée le 30 avril 2014).
- Balica, S., Wright, N. et Meulen, F. (2012). A Flood Vulnerability Index for Coastal Cities and its Use in Assessing Climate Change Impacts. *Natural Hazards*, vol. 64, n° 1, p. 73-105.
- Bahinipati, C. et Sahu, N. (2012). Mangrove Conservation as Sustainable Adaptation to Cyclonic Risk in Kendrapada District of Odisha, India. *Asian Journal of Environment and Disaster Management*, vol. 4, n° 2, p. 65-84.
- Barbier, E. (2012). A Spatial Model of Ecosystem Services. *Ecological Economics*, vol. 78, p. 70-79.
- Barbier, E., Hacker, S., Kennedy, C., Koch, E., Stier, A. et Silliman, B. (2011). The Value of Estuarine and Coastal Ecosystem Services. *Ecological Monographs*, vol. 81, n° 2, p. 169-193.
- Björk, M., Short, F., Mcleod, E. et Beer, S. (2008). *Managing Seagrasses for Resilience to Climate Change*. Gland, IUCN, 56 p.
- Braysahw, D., Woollings, T. et Vellinga, M. (2009). Tropical and Extratropical Responses of the North Atlantic Atmospheric Circulation to a Sustained Weakening of the MOC. *Journal of Climate*, vol. 22, n° 11, p. 3146-3155.
- Brenkert, A. L. et Malone, E. L. (2005). Modeling Vulnerability and Resilience to Climate Change: A Case Study of India and Indian States. *Climatic Change*, vol. 72, n° 1-2, p. 57-102.
- Brown, S., Nicholls, R. J., Woodroffe, C. D., Hanson, S., Hinkel, J., Kebede, A. S., Neumann B. et Vafeidis, A. T. (2013). Sea-Level Rise Impacts and Responses: A Global Perspective. In Finkl, I. C. W. (réd.), *Coastal Hazards* (chap. 5, p. 117-150). Dordrecht, Springer Netherlands.
- Carpenter, S. R., Mooney, H. a, Agard, J., Capistrano, D., Defries, R. S., Díaz, S., Whyte, A. (2009). Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 106, n° 5, p. 1305–1312.
- CCHST (Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail) (2009). Danger et risque. In CCHST. *Programmes santé et sécurité*. http://www.cchst.ca/oshanswers/hsprograms/hazard_risk.html (Page consultée le 26 janvier 2014).
- CCNUCC (2011). *The Nairobi Work Programme On Impacts Vulnerability and Adaptation to Climate Change: Assessing the Costs and Benefits of Adaptation Options: an Overview of Approaches*. Nairobi, CCNUCC, 52 p.

- CCNUCC (2014). Feeling the Heat: Climate Science and the Basis for the Convention. *In* CCNUCC. *The Science*. http://unfccc.int/essential_background/the_science/items/6064.php (Page consultée le 21 janvier 2014).
- Census2011 (2011a). Tamil Nadu Population Census Data 2011. *In* Census2011. *States*. <http://www.census2011.co.in/census/state/tamil+nadu.html> (Page consultée le 28 février 2014).
- Census2011 (2011b). Andhra Pradesh Population Census Data 2011. *In* Census2011. *States*. <http://www.census2011.co.in/census/state/andhra+pradesh.html> (Page consultée le 28 février 2014).
- Census2011 (2011c). Orissa Population Census Data 2011. *In* Census2011. *States*. <http://www.census2011.co.in/census/state/orissa.html> (Page consultée le 28 février 2014).
- Charlton, R. (2008). Processes of Erosion, Transport and Deposition. *Fundamentals of Fluvial Geomorphology* (chap. 7; p. 93-117). New York, Routledge.
- Chester, C. C., Hilty, J. A., Trombulak, S. C. (2012). Climate Change Science, Impacts, and Opportunities. *In* Hilty, J. A., Chester, C. C. et Cross, M. S. (réds.), *Climate and Conservation: Landscape and Seascape Science, Planning and Action* (chap. 1, p. 3-15), Washington, D.C., Island Press.
- CHRR (2005). India Natural Disaster Profile. *In* CHRR. *Natural Disaster Profiles for Indian Ocean Countries*. <https://www.ldeo.columbia.edu/chrr/research/profiles/india.html> (Page consultée le 24 avril 2014).
- CIA (2014). India. *In* CIA. *The World Factbook*. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/in.html> (Page consultée le 20 février 2014).
- Clewell, A. F. et Aronson, J. (2007). Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession. Washington, D.C., Island Press, 230 p.
- CNRD et PEDRR (2013). *Master's Module : Disasters, Environment and Risk Reduction (Eco-DRR) - Instructor's Manual*. Cologne, Genève, PNUE, 102 p.
- Dasgupta, S., Gosain, A. K., Rao, S. Roy, S. et Sarraf, M. (2012). A megacity in a changing climate: the case of Kolkata. *Climatic Change*, vol. 116, n° 3-4, p. 747-766.
- Dayton-Johnson, J. (2006). *Natural Disaster and Vulnerability*. OECD Development Center.
- Devi, K., Raicy, M. C., Trivedi, D., Srinivasan, P., Murthy, S. G. N., Goble, R. J. et Nair, R. R. (2013). Assessment of Coastal Dune Characteristics Using Georadar Imaging and Sedimentological Analysis: Odisha and Visakhapatnam, India. *Journal of Coastal Conservation*, vol. 17, n° 4, p. 729-742.
- Dilley, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. L., Arnorld, M., Agwe, J., Buys, P., Kjekstad, O., Lyon, B. et Yetman, G. (2005). *Natural Disaster Hotspots A Global Risk Analysis*. Washinton, D.C., The World Bank, 148 p.

- Dolan, A. et Walker, I. (2004). Understanding Vulnerability of Coastal Communities to Climate Change Related Risks. *Journal of Coastal Research*, vol. 39, p. 1316-1323.
- Doody, J. (2013). Introduction. *Sand Dune Conservation, Management and Restoration* (p. 1-36). Dordrecht, Springer.
- DPGP (2012). GSDP/NSDP (2004-2005) - Statewise Data (2004-05 to 2011-12). In DPGP. *Statistical Reports*. http://pbplanning.gov.in/pdf/merged_statewise11-12.pdf (Page consultée le 22 février 2014).
- Dujovny, E. (2009). The Deepest Cut: Political Ecology in the Dredging of a New Sea Mouth in Chilika Lake, Orissa, India. *Conservation and Society*, vol. 7, n° 3, p. 192-206.
- ÉÉM (2005). *Ecosystems and Human Well-being : Current State and Trends*. Washington, D. C., Island Press, 917 p.
- Emerton, L. (2006). *Counting coastal ecosystems as an economic part of development infrastructure*. Colombo, UICN, 15 p.
- Environnement Canada (2012). The Greenhouse Effect. In Environnement Canada. *Information on Climate Change*. <http://www.climatechange.gc.ca/default.asp?lang=En&n=1A0305D5-1> (Page consultée le 3 mars 2014).
- Fabricius, K. (2005). Effects of Terrestrial Runoff on the Ecology of Corals and Coral Reefs: Review and Synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 50, n° 2, p. 125-146.
- Feagin, R., Mukherjee, N., Shanker, K., Baird, A. H., Cinner, J., Kerr, A. M., Koedam, N., Sridhar, A., Arthur, R., Jayatissa, L. P., Lo Seen, D., Menon, M., Rodriguez, S., Shamsuddoha, M. D. et Dahdouh-Guebas, F. (2010). Shelter from the Storm? Use and Misuse of Coastal Vegetation Bioshields for Managing Natural Disasters. *Conservation Letters*, vol. 3, n° 1, p. 1-11.
- Feagin, R. (2013). Foredune Restoration Before and After Hurricanes: Inevitable Destruction, Certain Reconstruction. In Martínez, M. L., Gallego-Fernández, J. B. et Hesp, P. A. (réds). *Restoration of Coastal Dunes* (chap. 6, p. 93-103). Berlin, Springer.
- Gadgil, S. (2007). The Indian Monsoon : 3. Physics of the Monsoon. *Resonance*, vol. 12, n° 5, p. 4-20.
- GAR (2013). Risk. In GAR. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2013*. <http://risk.preventionweb.net:8080/capraviewer/main.jsp?tab=0> (Page consultée le 24 janvier 2014).
- GBM (2013). Disaster Risk Reduction - Risk Mitigation. In La Banque Mondiale. *Disaster Risk Management*. <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/EASTASIAPACIFICEXT/EXTEAPREGTOPRISKMGMT/0,,contentMDK:22239627~pagePK:34004173~piPK:34003707~theSitePK:4077908,00.html> (Page consultée le 28 mars 2014).

- GBM (2014a). PIB (\$ US courants). *In* La Banque Mondiale. *Données*.
<http://donnees.banquemondiale.org/pays/inde> (Page consultée le 19 février 2014).
- GBM (2014b). Inde. *In* La Banque Mondiale. *Données*.
<http://donnees.banquemondiale.org/pays/inde> (Page consultée le 19 février 2014).
- GIEC (2007a). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, 976p.
- GIEC (2007b). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, 996 p.
- GIEC (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. New York, Cambridge University Press, 594p.
- GIEC (2014a). *Climate Change 2013 : The Physical Science Basis*. New York, Cambridge University Press, 1552 p.
- GIEC (2014b). Emergent Risks and Key Vulnerabilities. *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation and Vulnerability* (chap. 19). New York, Cambridge University Press.
- GIEC (2014c). Asia. *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation and Vulnerability* (chap. 24). New York, Cambridge University Press.
- GIEC (2014d). Adaptation, Planning and Implementation. *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation and Vulnerability* (chap. 15). New York, Cambridge University Press.
- Gladstone, W. (2009). Conservation and Management of Tropical Coastal Ecosystems. *In* Nagelkerken, I. (réd.). *Ecological Connectivity Among Tropical Coastal Ecosystems* (chap. 16, p. 565-605). Dordrecht, Springer.
- Government of India (2014). Profile. *In* National Portal of India. *India at a Glance*.
<http://india.gov.in/india-glance/profile> (Page consultée le 21 février 2014).
- Govindasamy, C. et Arulpriya, M. (2011). Seasonal Variation in Seagrass Biomass in Northern Palk Bay, India. *Biodiversity*, vol. 12, n° 4, p. 223-231.
- Goyal, P., Datta, T. et Vijay, V. (2012). Vulnerability of Rural Houses to Cyclonic Wind. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, vol. 3, n° 1, p. 20-41.
- Greenpeace India (2004). The Gulf of Mannar Biosphere Reserve. *In* Greenpeace. *Conservation of marine life and sustainable fishing key to future of India's East Coast*.
<http://www.greenpeace.org/india/en/news/conservation-of-marine-life-an1/the-gulf-of-mannar-biosphere-r/> (Page consultée le 17 mars 2014).
- Groomsbridge, B. et Jenkins, M. D. (2002). *World Atlas of Biodiversity*. Berkeley, Los Angeles, University of California Press, PNUE-WCMC, 360 p.

- Haq, N. (2012). Forests, Fruits and Fish Could Save Coastal Communities. *In* International Press Service. <http://www.ipsnews.net/2012/12/forests-fruit-and-fish-could-save-coastal-communities/> (Page consultée le 4 avril 2014).
- Harvey, A. (2012). *Introducing Geomorphology: A Guide to Landforms and Processes*. Edinburgh, Dunedin Academic Press, 124 p.
- He, S. et Qiu, L. (2011). Disaster Risk Management under Climate Change : Challenges and Responses. *Emergency Management and Management Sciences*, p. 241-243.
- Hoon, V. (1997). Coral Reefs of India: Review of Their Extent, Condition, Research and Management Status. *In* FAO. Regional Workshop on the Conservation and Sustainable Management of Coral Reefs (chap. 2). Chennai, FAO.
- Inde. Planning Commission (2008). *Report on Visit to Pichavaram in Tamil Nadu – a wetland included under National Wetland Conservation and Management Programme of the Ministry of Environment & Forests. 30th September 2008*. New Delhi, Planning Commission, 13 p.
- Inde. NDMA (2009). *National Policy on Disaster on Disaster Management 2009*. NDMA, 56p.
- Islam, A. (2012). Innovative Approach of Ecosystem-Based Adaptation in Coastal Bangladesh. *In* Shaw, R. (réd.). *Community, Environment and Disaster Risk Management* (chap. 5, p. 85-106). Bingley, Emerald Group Publishing Limited.
- Iwasaki, S., Razafindrabe, B. H. N. et Shaw, R. (2009). Fisheries Livelihoods and Adaptation to Climate Change : A Case Study of Chilika Lagoon. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 14, p. 339-355.
- Jha, A. K., Bloch, R. et Lamond J. (2012). *Cities and Flooding: A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century*. Washington, D. C., The World Bank, 631 p.
- Joseph, J. (2013). Measuring Vulnerability to Natural Hazards: a Macro Framework. *Disasters*, vol. 37, n° 2, p. 185-200.
- Kadekodi, G. et Nayampali, A. (2003). Prospects of Reversing Biodiversity Losses in Lake Chilika in India. *Pacific and Asian Journal of Energy*, vol. 13, n° 1, p. 37-60.
- Kallesøe, M. K., Bambaradeniya, C., Iftikhar, U. A., Ranasinghe, T. et Miththapala, S. (2008). *Linking Coastal Ecosystems and Human Well-Being: Learning from conceptual frameworks and empirical results*. Colombo, IUCN, 49 p.
- Kannapiran, E., Kannan, L., Purushothaman, A. et Thangarajdou, T. (2008). Physico-Chemical and Microbial Characteristics of the Coral Reef Environment of the Gulf of Mannar Marine Biosphere Reserve, India. *Journal of Environmental Biology / Academy of Environmental Biology, India*, vol. 29, n° 2, p. 215-222.
- Kannur. Kannur District (2009). Disaster Management Plan. Kannur, Kannur District, 242 p.

- Karuppanapandian, T., Karupudurai, T. et Kumaraguru, A. K. (2007). A Preliminary Study on the Environmental Condition of the Coral Reef Habitat. *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 4, n° 3, p. 371-378.
- Kathiresan, K. (2000). A Review of Studies on Pichavaram Mangrove, Southeast India. *Hydrobiologia*, vol. 430, p. 185-295.
- Kesavan, P. C. et Swaminathan, M. S. (2006). Managing extreme natural disasters in coastal areas. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering sciences*, vol. 364, n° 1845, p. 2191-2216.
- Kumar, A. A. et Kunte, P. (2012). Coastal Vulnerability assessment for Chennai, East Coast of India Using Geospatial Techniques. *Natural Hazards*, vol. 64, n° 1, p. 853-872.
- Kumar, K. J. A. et Walia, A. (2013). India Disaster Report 2012. In National Institute of Disaster Management. <http://nidm.gov.in/PDF/pubs/India%20Disaster%20Report%202012.pdf> (Page consultée le 16 février 2014).
- Kumar, R. (2000). Conservation and management of mangroves in India, with special reference to the State of Goa and the Middle Andaman Islands. In FAO. *FAO Corporate Document Repository*. <http://www.fao.org/docrep/x8080e/x8080e07.htm> (Page consultée le 23 mars 2014).
- Kumar, T. S., Mahendra, R.S., Nayak, S., Radhakrishnan, K. et Sahu, K. C. (2010). Coastal Vulnerability Assessment for Orissa State, East Coast of India. *Journal of Coastal Research*, vol. 26, n° 3, p. 523-534.
- Lal, M. (2003). Global Climate Change: India's Monsoon and its Variability. *Journal of Environmental Studies and Policy*, vol. 6, n° 1, p. 1-34.
- Lal, R. (2011). Climate of South Asia and the Human Wellbeing. In Lal, R., Sivakumar, M. V. K., Faiz, S. M. A., Rahman, A. H. M. M., Islam, K. R. (réds.), *Climate Change and Food Security in South Asia* (chap. 1, p. 3-12). Dordrecht, Springer.
- Lighthouse Foundation (s. d.). India: MANGREEN - Mangrove Restoration and Ecology in Tamil Nadu. In Lighthouse Foundation. *Mangreen - from project to institution*. <http://www.lighthouse-foundation.org/index.php?id=191&L=1> (Page consultée le 3 avril 2014).
- Linham, M. et Nicholls, R. J. (2010) *Technologies for Climate Change Adaptation: Coastal erosion and flooding*. Roskilde, UNEP, 166 p.
- Madan, D. (2006). Disaster Management in India. In OCDE. *Catastrophic Risks and Insurance* (chap. 21, p. 381-392). OECD Publishing.
- Mahendra, R.S., Mohanty, P. C., Bisoyi, H., Kumar, T. S. et Nayak, S. (2011). Assessment and Management of Coastal Multi-Hazard Vulnerability Along the Cuddalore–Villupuram, East Coast of India using Geospatial Techniques. *Ocean and Coastal Management*, vol. 54, n° 4, p. 302-311.

- Mallick, B., Rahaman, K. et Vogt, J. (2011). Social Vulnerability Analysis for Sustainable Disaster Mitigation Planning in Coastal Bangladesh. *Disaster Prevention and Management*, vol. 20, n° 3, p. 220-237.
- MAP (2008). Case Study: Disaster mitigation and prevention through restoration of littoral vegetation, Ampara District, Sri Lanka. In ProAct Network, *The Role of Environmental Management and Eco-engineering in Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation* (annexe 1, p. 23-32). ProAct Network.
- MapsofIndia.com (2007). Physiographic Map of India. In MapsofIndia.com.
<http://www.mapsofindia.com/maps/india/physiographic.htm> (Page consultée le 13 février 2014).
- Mascarenhas, A. (2008). Sand Fences: An Environment-Friendly Technique to Restore Degraded Coastal Dunes. *Journal Geological Society of India*, vol. 71, p. 868-870.
- Mascarenhas, A. et Jayakumar, S. (2008). An environmental perspective of the post-tsunami scenario along the coast of Tamil Nadu, India: Role of sand dunes and forests. *Journal of Environmental Management*, vol. 89, n° 1, p. 24-34.
- Marale, S. M. (2012). Strategies for coastal ecosystem management in India. *Environment, Development and Sustainability*, vol. 15, n° 1, p. 23-38.
- Marchand, M., Long, T. et Sawarendro (2012). *Adaptive Water Management for Delta Regions: Towards GREEN Water Defense in East Asia*. Deltares, 95 p.
- MDDEP (2012). Normales climatiques 1981-2010 : Climat du Québec. In MDDEP. *Climat*.
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/climat/normales/climat-qc.htm> (Page consultée le 20 avril 2014).
- MHA (2005). Disaster Management in India. In ONUSIPC. *UNISDR Search*.
http://www.unisdr.org/search?cx=014932112152556794315%3Aev9g2xr_5ni&cof=FORID%3A11&ie=UTF-8&q=india&sa.x=0&sa.y=0 (Page consultée le 19 février 2014).
- Mirza, M. (2010). Climate Change, Flooding in South Asia and Implications. *Regional Environmental Change*, vol. 11, n° 1, p. 95-107.
- Miththapala, S. (2008a). *Coral Reefs - Coastal Ecosystems Series (Volume 1)*. Colombo, IUCN, 44 p.
- Miththapala, S. (2008b). *Seagrasses and Sand Dunes - Coastal Ecosystems Series (Volume 3)*. Colombo, IUCN, 44 p.
- Miththapala, S. (2008c). *Mangroves - Coastal Ecosystems Series (Volume 2)*. Colombo, IUCN, 36 p.

- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J.-F., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Pichs, R., Riahi, K., Rose, S., Runci, P., Stouffer, R., Vuuren, D., Weyant, J., Wilbanks, T., Ypersele, J.-P., Zurek, M. (2007). *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts and Response Strategies*. Noordwijkerhout, GIEC, 132 p.
- Moss, R. H., Edmonds, J., Hibbard, K., Manning M. R., Rose, S.K., Vuuren, D., Carter, T., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P. et Wilbanks, T. J. (2010). The Next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment. *Nature*, vol. 463, n° 7282, p. 747-756.
- MSSRF (2003). *Joint mangrove management in Tamil Nadu: Process, experiences and prospects. Part 1: Situation analysis – Pichavaram and Muthupet mangrove wetland*. Chennai, MSSRF, 74 p.
- Munang, R., Thiaw, I., Alverson, K., Liu, J. et Han Z. (2013). The Role of Ecosystem Services in Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 5, n° 1, p. 47-52.
- Mujabar, P.S. et Chandrasekar, N. (2013). Coastal Erosion Hazard and Vulnerability Assessment for Southern Coastal Tamil Nadu of India by Using Remote Sensing and GIS. *Natural Hazards*, vol. 69, n° 3, p. 1295-1314.
- Nayak, S. et Bahuguna, A. (2008). Application of Remote Sensing for Damage Assessment of Coastal Ecosystems in India due to the December 2004 Tsunami. In Nayak, S. et Zlatanova, S. (réds). *Remote Sensing and GIS Technologies for Monitoring and Prediction of Disasters* (chap.3, p. 37-56). Berlin, Springer.
- NDMA (s.d.). Functions and Responsibilities. In NDMA. *About NDMA*. <http://www.ndma.gov.in/en/about-ndma/roles-responsibilities.html> (Page consultée le 23 février 2014).
- NIDM (2012). *Ecosystem Approach to Disaster Risk Reduction*. New Delhi, NIDM, 217 p.
- NIO (2009). *Sagar: A Pocketbook on the Ocean with Special Reference to the Waters Around India*. Dona Paula, NIO, 36 p.
- NOAA (2008). Salt Marshes. In NOAA. *Estuarine Habitats*. http://oceanservice.noaa.gov/education/kits/estuaries/media/supp_estuar06a_saltmarsh.html (Page consultée le 22 mars 2014).
- NOAA (2012). Estuaries. In NOAA. *Education HOME*. http://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_estuaries/welcome.html (Page consultée le 24 mars 2014).

- Noguchi, Y., DasGupta, R. et Shaw, R. (2012). Cooperative Management of Mangrove Ecosystems in India. *In* Shaw, R. (réd.). *Community, Environment and Disaster Risk Management* (chap. 4, p. 63-84). Bingley, Emerald Group Publishing Limited.
- OCDE (2011). Special Focus : Inequality in Emerging Economies (EEs). *In* OCDE. *Divided We Stand : Why Inequality Keeps Rising* (p. 47-85). OECD Publishing.
- OMCAR (2012). Ecological Mangrove Restoration Techniques. *In* OMCAR. *Conservation*. <http://www.omcar.org/user/Conservation.aspx?ID=1> (Page consultée le 4 avril 2014).
- OMM (s.d.). Tropical Cyclones :Questions and Answers. *In* OMM. *Fact Sheets*. <http://www.wmo.int/pages/mediacentre/factsheet/tropicalcyclones.html> (Page consultée le 2 février 2014).
- ONUSIPC (2001). Countering Disasters, Targeting Vulnerability. *In* ONUSIPC. *United Nations World Disaster Reduction Campaign*. http://www.unisdr.org/2001/campaign/pdf/kit_frenc.pdf (Page consultée le 8 février 2014).
- ONUSIPC (2007). *Hyogo Framework for Action 2005-2015*. Genève, ONUSIPC, 28 p.
- ONUSIPC (2010). South Asia Disaster Risk Management Programme: Synthesis Report on SAR Countries Disaster Risks. *In* ONUSIPC. www.unisdr.org/files/18873_southasiadisasterriskassessmentstud.pdf (Page consultée le 14 mars 2014).
- ONUSIPC et PNUD (2012). *A Toolkit for: Integrating Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation into Ecosystem Management of Coastal and Marine Areas in South Asia*. New Delhi, PNUD, 173 p.
- PNUD (2009). *The Role of Ecosystem Management in Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction*. Copenhagen, PNUD, 8 p.
- PNUD (2011). *A New Land Use Model : Forest Fruit Fish*. Dhaka, PNUD Bangladesh, 16 p.
- PNUE (2006). *Marine and Coastal Ecosystems and Human Well-Being : A Synthesis Report Based on the Findings of the Millenium Ecosystem Assessment*. Nairobi, PNUE, 76 p.
- PNUE (2011a). *Taking Steps Towards Marine and Coastal Ecosystem-based Management: An Introductory Guide*. Nairobi, PNUE, 68 p.
- PNUE (2011b). *A Practical Framework for Planning Pro-Development Climate Policy*. PNUE, 74 p.
- Poyyamoli, G., Padmavathy, K. et Balachandran, N. (2012). Coastal Sand Dunes - Vegetation Structure, Diversity and Disturbance in Nallavadu Village, Puducherry, India. *In* Subramanian, V. (réd.). *Coastal Environments: Focus on Asian Regions* (chap. 14, p. 115-122). Dordrecht, Springer.

- PreventionWeb (2010). India - Disaster Statistics. In PreventionWeb. *Data and Statistics*.
<http://www.preventionweb.net/english/countries/statistics/?cid=79> (Page consultée le 28 avril 2014).
- ProAct Network (2008). *The Role of Environmental Management and Eco-engineering in Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation*. ProAct Network, 55 p.
- Québec. Ministère de la Sécurité publique (2008). *Gestion des risques en sécurité publique*. Ville de Québec, Ministère de la Sécurité publique, 78p.
- Ramesh, A. et Kannupandi, T. (1997). Recent Changes in the Coral Reef Ecosystem of Palk Bay: A Comparative Status of Previous Reports and Researches. In FAO. *Regional Workshop on the Conservation and Sustainable Management of Coral Reefs* (chap. 19). Bangladesh, FAO.
- Rao, K. N., Subraelu, P., Kumar, K. C.V. N., Demudu, G., Malini, B. H. et Rajawat, A.S. (2010). Impacts of Sediment Retention by Dams on Delta Shoreline Recession: Evidences from the Krishna and Godavari deltas, India. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 35, p. 817-827.
- Roberts, N., Nadim, F. et Kalsnes, B. (2009). Quantification of Vulnerability to Natural hazards. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, vol. 3, n° 3, p. 164-173.
- Rodrigues, R. S., Mascarenhas, A. et Jagtap, T. G. (2011). An Evaluation of Flora from Coastal Sand Dunes of India: Rationale for Conservation and Management. *Ocean and Coastal Management*, vol. 54, n° 2, p. 181-188.
- Sapountzaki, K. (2012). Vulnerability Management by Means of Resilience. *Natural Hazards*, vol. 60, n° 3, p. 1267-1285.
- Sandilyan, S. et Kathiresan, M. (2012). Mangrove Conservation: A Global Perspective. *Biodiversity and Conservation*, vol. 21, n° 14, p. 3523-3542.
- Seagrass Watch (2013). India. In Seagrass Watch. <http://www.seagrasswatch.org/India.html> (Page consultée le 22 mars 2014).
- Sen, D. (2010). Flood Hazards in India and Management Strategies. In Jha, M. (réd.), *Natural and Anthropogenic Disasters Vulnerability, Preparedness and Mitigation* (chap. 7, p. 126-146). Dordrecht, Springer.
- SER (2004). SER International Primer on Ecological Restoration. In SER. *Resources*.
<https://www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration#3> (Page consultée le 16 avril 2014).
- Shaw, R. (2006). Indian Ocean Tsunami and Aftermath: Need for Environment-Disaster Synergy in the Reconstruction Process. *Disaster Prevention and Management*, vol. 15, n° 1, p. 5-20.

- Short, F., Carruthers, T., Dennison, W. et Waycott, M. (2007). Global Seagrass Distribution and Diversity: A Bioregional Model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 350, n° 1-2, p. 3-20.
- Sijikumar, S., John, L., Manjusha, K. (2013). Sensitivity Study on the Role of Western Ghats in Simulating the Asian Summer Monsoon Characteristics. *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 120, p. 53-60.
- Singh, A. K., Ansari, A., Kumar, D. et Sarkar, U. K. (2012). Status, Biodiversity and Distribution of Mangroves in India : An overview. In Uttar Pradesh State Biodiversity Board. *Marine Biodiversity: One Ocean, Many Worlds of Life* (chap. 6, p. 59-67). Uttar Pradesh State Biodiversity Board.
- Singh, O. P. (2010a). Tropical cyclones: Trends, Forecasting and Mitigation. In Jha, M. (éd.), *Natural and Anthropogenic Disasters Vulnerability, Preparedness and Mitigation* (chap. 12, p. 256-274). Dordrecht, Springer.
- Singh, O. P. (2010b). Recent Trends in Tropical Cyclone Activity in the North Indian Ocean. In Charabi, Y. et Al-Hatrushi, S. (réds.), *Indian Ocean Tropical Cyclones and Climate Change* (p. 51-54). New York, Springer.
- Sivakumar, M. et Stefanski, R. (2011). Climate Change in South Asia. In Lal, R., Sivakumar, M. V. K., Faiz, S. M. A., Rahman, A. H. M. M., Islam, K. R. (réds.), *Climate Change and Food Security in South Asia* (chap. 2, p. 13-30). Dordrecht, Springer.
- Smithers, S. (2011). Fringing reefs. In McLean, R. (éd.). *Encyclopedia of Modern coral Reefs* (p. 430-446). Dordrecht, Springer.
- Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R. et Friedlingstein, P. (2009). Irreversible Climate Change due to Carbon Dioxide Emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 106, n° 6, p. 1704-1709.
- START (2014). *Integrated Coastal Zone Management: Lessons in Capacity Building and Good Governance for Coastal Adaptation*. Washington, D. C., START International, Inc., 6 p.
- Talbot, F. et Wilkinson, C. (2001). *Coral Reefs, Mangroves and Seagrasses: A Sourcebook for Managers*. Townsville, Australian Institute of Marine Science, 194 p.
- Tallis, H., Kareiva, P., Marvier, M. et Chang, A. (2008). An Ecosystem Services Framework to Support both Practical Conservation and Economic Development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 105, n° 28, p. 9457-9464.
- Tans, P. (2014a). Mauna Loa CO₂ annual mean data. In National Oceanic and Atmospheric Administration. *Global Greenhouse Gas Reference Network*.
ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_annmean_mlo.txt (Page consultée le 20 janvier 2014).

- Tans, P. (2014b). Weekly mean CO₂ and historical comparisons. *In* National Oceanic and Atmospheric Administration. *Global Greenhouse Gas Reference Network*.
ftp://aftp.cmdl.noaa.gov/products/trends/co2/co2_weekly_mlo.txt (Page consultée le 20 janvier 2014).
- Tans, P et Keeling, R. (2014). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. *In* National Oceanic and Atmospheric Administration. *Global Greenhouse Gas Reference Network*.
<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> (Page consultée le 20 janvier 2014).
- Thangaradjou, R. S. T. et Astalakshmi, L. K. S. (2010). Assessment of Coastal Bio-resources of the Palk Bay, India, using IRS-LISS-III data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol. 38, p. 565-575.
- Thanikachalam, M. et Ramachandran, S. (2003). Shoreline and Coral Reef Ecosystem Changes in Gulf of Mannar, Southeast Coast of India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, vol. 31, n° 3, p. 157-173.
- UN Atlas of the Oceans (2010a). The Ever More Popular Coasts. *In* UN Atlas of the Oceans. *Human Settlements on the Coast*.
<http://www.oceansatlas.org/servlet/CDSServlet?status=ND0xODc3JjY9ZW4mMzM9KiYzNz1rb3M~> (Page consultée le 20 mars 2014).
- UN Atlas of the Oceans (2010b). Coral Reefs: Shoreline protection. *In* UN Atlas of the Oceans. *Ecosystem Services*.
<http://www.oceansatlas.org/servlet/CDSServlet?status=ND0xOTA1NiZjdG5faW5mb192aWV3X3NpemU9Y3RuX2luZm9fdmld19mdWxsJjY9ZW4mMzM9KiYzNz1rb3M~> (Page consultée le 20 mars 2014).
- UNEP-WCMC (2006). *In the Front Line: Shoreline Protection and Other Ecosystem Services from Mangroves and Coral Reefs*. Cambridge, PNUE-WCMC, 40 p.
- IUCN (2007). *Environmental and Socio Economic Value of Mangroves in Tsunami Affected Areas Rapid Mangrove Valuation Study, Panama Village in South Eastern Coast of Sri Lanka*. Colombo, IUCN Sri Lanka, 49 p.
- IUCN (2013). Coral Reefs: Facts and Figures. *In* IUCN. *Facts and Figures*.
http://www.iucn.org/media/facts_and_figures/?12680/Coral-reefs---Facts-and-figures (Page consultée le 20 mars 2014).
- UNICEF (2012). Statistiques. *In* UNICEF. *Inde*.
http://www.unicef.org/french/infobycountry/india_statistics.html (Page consultée le 2 mars 2014).
- Vuuren, D. et Carter, T. (2014). Climate and Socio-Economic Scenarios for Climate Change Research and Assessment: Reconciling the New with the Old. *Climatic Change*, vol. 122, n° 3, p. 415-429.
- Wang, B. (2006). *The Asian Monsoon*. New York, Springer, 870 p.

- Warf, B. (2010). *Encyclopedia of Geography*. Thousand Oaks, SAGE Publications, Inc, 3560 p.
- Wu, G., Liu, Y., Zhang, Q., Duan, A., Wang, T., Wan, R., Liu, X., Li, W., Wang, Z., Liang, X. (2007). The Influence of Mechanical and Thermal Forcing by the Tibetan Plateau on Asian Climate. *Journal of Hydrometeorology*, vol. 8, n° 4, p. 770-789.
- Wu, G., Liu, Y., He, B., Bao, Q., Duan, A. et Jin, F. (2012). Thermal Controls on the Asian Monsoon. *Scientific Reports*, vol. 2, n° 404, p. 1-7.
- Wu, L., Zong, H., Liang, J. (2013). Observational Analysis of Tropical Cyclone Formation Associated with Monsoon Gyres. *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 70, n° 4, p. 1023-1034.
- Zakour, M. et Gillespie, D. (2013). *Community Disaster Vulnerability : Theory, research and Practice*. New York, Springer, 178 p.